

CARLOS CARDOSO MACHADO

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO  
DE ESTRADAS FLORESTAIS (SIBRACEF):  
DESENVOLVIMENTO E RELAÇÃO COM O MEIO  
DE TRANSPORTE FLORESTAL RODOVIÁRIO

Tese apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de "Doutor em  
Ciências Florestais" no Curso de Pós-Gra-  
duação em Engenharia Florestal da Univer-  
sidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1989

CARLOS CARDOSO MACHADO

**SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS  
FLORESTAIS(SIBRACEF): Desenvolvimento e relação  
com o meio de transporte florestal rodoviário**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de "Doutor em Ciências Florestais" no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná

CURITIBA

1989

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato CARLOS CARDOSO MACHADO, sob o título "SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS (SIBRACEF): DESENVOLVIMENTO E RELAÇÃO COM O MEIO DE TRANSPORTE FLORESTAL RODOVIÁRIO" para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: SILVICULTURA, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Tese completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Doutor em Ciências Florestais.

Curitiba, 24 de fevereiro de 1989

Prof. Dr. Amaury Paulo de Souza  
Primeiro Examinador

Prof. Dr. João Walter Simões  
Segundo Examinador

Prof. Dr. Nelson Venturim  
Terceiro Examinador

Prof. Dr. Flavio Felipe Kirchner  
Quarto Examinador

Prof. Dr. Jorge Roberto Matinovski  
Presidente da Comissão



## BIOGRAFIA

Natural de Viçosa-MG, Carlos Cardoso Machado é filho de Carlos Vieira Machado e Ana Cardoso Machado. Casado com Sônia Maria Ribeiro Machado, tem três filhos: Carla, Breno e Raiane.

Em 1964, finalizou o 1º grau na Escola Estadual Edmundo Lins, ingressando no Colégio de Viçosa, de onde saiu para o Colégio Universitário da Universidade Federal de Viçosa em 1972, para cursar o 3º ano do 2º grau.

Em 1976, graduou-se em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, ocasião em que se dirigiu para a "Michigan State University" para realização de um curso intensivo de Inglês. Em setembro de 1977, ingressou no Curso de Pós-Graduação, da "University of Washington", finalizando o curso de mestrado em Exploração e Transporte Florestal em 1979. Em virtude de seu brilhante desempenho acadêmico, foi convidado para membro da "American Honors Society", a qual congrega os melhores estudantes de todos os níveis nos EUA.

Contratado pela Universidade Federal de Viçosa em 1979, como professor colaborador, é atualmente, via diversos concursos públicos, Professor Assistente IV. Nestes dez anos de efetivo trabalho na UFV, seu maior orgulho profissional, é a dedicação ao ensino e à pesquisa florestal no Brasil.

Ao meu pai,

A minha mãe(In memoriam),

A minha família.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a minha esposa Sônia pela paciência, carinho e dedicação, que foram fundamentais ao êxito deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas Tecnológicas(CNPq), à Klabin do Paraná e à Amapa Celulose e Papel(AMCEL), meus sinceros agradecimentos pelo apoio financeiro e logístico, os quais contribuíram decisivamente para a viabilização prática da pesquisa.

Ao amigo de sempre, o cronotécnico Francisco Ricardo Bizerra(UFV), pelo grande auxílio na fase de coleta de dados.

O meu reconhecimento à contribuição recebida dos companheiros Engº Valério Tibúrcio(AMCEL), Engº Ronaldo Seila(Klabin) e Engº Juarez Floravanti(Volvo) na área de transporte florestal; Técnico Luiz de Carvalho(Klabin) e Prof. Armando Pereira(UFPR) no setor de estradas; Estatístico Sérgio Ignácio(IPARDES), Matemático Everson Villas Boas(IPARDES), Prof. Agostinho Lopes de Souza(UFV), Prof. Flávio Kirchner(UFPR) e Analista de Sistemas Ricardo Euclides(UFV) na área de estatística e informática.

Os meus agradecimentos aos Professores Jorge Roberto Malinovski, Amaury Paulo de Souza e Ricardo Berger, do Comitê de Orientação, que souberam realizar bem a sua tarefa.

Finalmente, agradeço a Deus e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>JUSTIFICATIVA</u> .....	5
3. <u>OBJETIVOS</u> .....	9
4. <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	10
4.1. O setor florestal brasileiro.....	10
4.1.1. Consumo e utilização de madeira no Brasil.....	10
4.1.2. O patrimônio florestal brasileiro.....	12
4.1.3. A evolução dos reflorestamentos.....	14
4.2. O setor de estradas florestais.....	15
4.2.1. A evolução das estradas de rodagem.....	15
4.2.2. O sistema rodoviário florestal.....	17
4.2.2.1. Sistemas de classificação de rodovias florestais	17
4.2.2.1.1. Sistema padronizado.....	18
4.2.2.1.2. Sistema flexível.....	20
4.2.2.1.3. Sistema codificado.....	21
4.2.3. Parâmetros técnicos.....	22
4.2.3.1. Fatores geométricos da rodovia florestal.....	22
4.2.3.1.1. Greide.....	23
4.2.3.1.2. Alinhamento horizontal.....	23
4.2.3.1.3. Largura da estrada florestal.....	24
4.2.3.1.4. Distância de visibilidade.....	25

4.2.3.1.5. Ralo de curva de concordância horizontal.....	26
4.2.3.2. Superfície da pista de rolamento.....	27
4.2.3.3. Índice de desgaste da pista de rolamento.....	27
4.2.3.4. Índice de rugosidade da pista de rolamento.....	28
4.2.3.4.1. Macrorrugosidade.....	28
4.2.3.4.2. Microrrugosidade.....	29
4.2.3.5. Índice de durabilidade da estrada florestal....	33
4.2.3.6. Avaliação qualitativa da rede rodoviária florestal.....	36
4.3. O setor de transporte florestal brasileiro.....	37
4.3.1. A evolução do transporte rodoviário.....	37
4.3.2. Conceitos básicos.....	40
4.3.3. Classificação dos veículos.....	42
4.3.3.1. Tipos de veículos.....	43
4.3.3.2. Classes de veículos.....	43
4.3.4. Aspecto de desempenho.....	44
4.3.4.1. Resistência ao rolamento.....	44
4.3.4.2. Resistência de rampa.....	46
4.3.4.3. Força disponível na roda do veículo.....	46
4.3.4.4. Força de aderência.....	48
4.3.4.5. Capacidade de subida do veículo.....	49
4.3.5. Eficiência do transporte.....	50
4.3.6. Pneumáticos.....	52
4.3.7. Impacto dinâmico dos veículos na estrutura das estradas florestais.....	54
4.4. Considerações econômicas.....	55



5. <u>METODOLOGIA</u> .....	57
5.1. Sistema de amostragem.....	57
5.2. Seleção dos locais de experimentação.....	58
5.3. Descrição das áreas de experimentação.....	60
5.3.1. Informações climáticas regionais.....	60
5.3.1.1. Temperatura.....	60
5.3.1.2. pluviosidade.....	62
5.3.2. Informações topográficas.....	62
5.3.2.1. Altitude.....	62
5.3.2.2. relevo.....	64
5.3.3. Informações geológicas e pedológicas.....	64
5.4. Levantamentos e medições de campo.....	66
5.4.1. Estrada florestal.....	66
5.4.1.1. Levantamento topográfico.....	66
5.4.1.2. Projeto geométrico.....	67
5.4.1.3. Estudo geotécnico do leito e subleito.....	67
5.4.2. Meio de transporte florestal.....	68
5.4.2.1. Inventário dos veículos.....	68
5.4.2.2. Classificação dos veículos de transporte florestal.....	68
5.4.2.3. Estudo do tráfego.....	69
5.4.2.4. Características técnicas.....	69
5.4.2.4.1. Freio motor.....	69
5.4.2.4.2. Motor de combustão interna.....	70
5.4.2.4.3. Número e tipo de eixos de veículos florestais	74
5.4.2.4.4. Diferencial.....	75

5.4.2.5. PBT ou PBTC dos veículos de transporte.....	75
5.4.2.6. Combustível.....	75
5.4.3. Coleta do tempo de viagem.....	76
5.4.3.1. Pontos de leitura.....	76
5.4.3.2. Ciclos.....	76
5.4.3.3. Tipos de dados e sua medição.....	77
5.4.3.4. Grandezas relativas.....	78
5.4.3.5. Fatores de influência.....	78
5.4.3.6. Recursos disponíveis para a coleta de dados....	79
5.4.3.7. Controle de tempo.....	80
5.4.3.8. Avaliação dos dados.....	81
5.5. Desenvolvimento e classificação dos índices geométricos de estrada florestal.....	81
5.5.1. Índice de alinhamento horizontal.....	82
5.5.2. Índice de alinhamento vertical.....	83
5.5.3. Desenvolvimento e classificação do índice de largura da pista de rolamento da estrada florestal..	86
5.5.3.1. Pista dupla.....	86
5.5.3.2. Pista semi-dupla.....	87
5.5.3.3. Pista única.....	87
5.6. Desenvolvimento e classificação do índice de superfície da pista de rolamento da estrada florestal...	88
5.7. Metodologia estatística utilizada.....	89
5.7.1. Análise estatística multivariada.....	89
5.7.1.1. Análise de componentes principais.....	90
5.7.1.2. Análise fatorial.....	91

5.7.1.2.1. Premissas da análise fatorial.....	93
5.7.1.2.2. Escore fatorial.....	95
5.7.1.2.3. Utilização e interpretação da análise fatorial.....	95
5.7.2. Análise de regressão linear múltipla.....	96
5.8. Desenvolvimento teórico do SIBRACEF.....	98
5.8.1. Filosofia.....	98
5.8.2. Constituição do SIBRACEF.....	99
5.8.2.1. Informações essenciais.....	99
5.8.2.2. Informações acessórias.....	100
6. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	101
6.1. Formação do banco de dados.....	101
6.2. Análise estatística multivariada.....	102
6.2.1. Análise de componentes principais.....	102
6.2.2. Análise fatorial.....	103
6.2.2.1. Objetivos e critérios de seleção.....	105
6.2.2.2. Resultados da análise fatorial e sua inter- pretação.....	109
6.3. Análise de Regressão Linear Múltipla.....	115
6.4. Desenvolvimento prático do SIBRACEF.....	123
6.4.1. Estabelecimento da relação RENDENER/RENDENEL.....	124
6.4.2. Padronização dos escores fatoriais.....	127
6.4.3. Procedimento para a constituição das informações essenciais do SIBRACEF.....	127
6.4.4. Estabelecimento das classes essenciais do SIBRACEF.....	128

6.4.4.1. Seleção de informações.....	133
6.4.4.2. Análise de agrupamento("Cluster Analysis").....	133
6.4.4.3. Análise discriminante.....	138
6.4.4.4. Análise de variância.....	140
6.4.4.5. Teste estatístico para comparações de médias...	142
6.4.5. Otimização do binômio Estrada/Transporte florestal.....	144
6.4.6. Análise econômica dos resultados do SIBRACEF.....	149
6.5. Representação completa da classificação.....	153
6.6. Teste de avaliação prática do SIBRACEF.....	154
6.6.1. Estabelecimento da classe essencial do SIBRACEF..	154
6.6.2. Características das composições veiculares testadas.....	156
6.7. Exigências e limitações do SIBRACEF.....	157
6.8. Desenvolvimento do fluxograma moderno de planeja- mento de estrada florestal.....	159
7. <u>CONCLUSÕES</u> .....	161
8. <u>RECOMENDAÇÕES</u> .....	163
9. <u>APÊNDICES</u> .....	164
9.1. Apêndice A: Estimativa do custo operacional dos veículos utilizados no exemplo de otimização do binômio Estrada/Transporte florestal.....	164
9.2. Apêndice B: Tabela de classificação mecânica dos solos pela Highway Research Boarding(HRB).....	178
10. <u>GLOSSÁRIO</u> .....	179
11. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	183

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

01	Distribuição do consumo nacional de madeira, por utilização, no período 1974-87.....	11
02	A influência das curvas horizontais, das estradas florestais, na velocidade de operação dos veículos de transporte.....	26
03	Comportamento dos custos de manutenção de veículos em função da carga bruta transportada, da distância de transporte e da qualidade da estrada florestal...	32
04	Comportamento da aceleração dos chassis do veículo em função da qualidade da estrada florestal.....	33
05	Índice de durabilidade do revestimento primário em função da densidade de tráfego e do tipo de rodado do veículo.....	36
06	Curva de eficiência do transporte florestal rodoviário.....	51
07	Influência da superfície da pista de rolamento no desgaste dos pneumáticos.....	53
08	A influência das ondulações das estradas florestais no desgaste dos pneumáticos de veículos de veículos de transporte.....	54
09	Impacto dinâmico de pneumáticos de veículos de transporte em estradas florestais.....	55
10	Coefficiente de correção da potência do motor em função da temperatura local.....	61
11	Coefficiente de correção da potência do motor em função da altitude local.....	63
12	Curvas de eficiência do motor Volvo TD 101F, turboalimentado com "intercooler".....	73
13	Ciclo operacional do transporte florestal.....	77
14	Relação quali-quantitativa entre os binômios ESTRADA/TRANSPORTE e ESTRADA/EXPLORAÇÃO florestal...	98

15	Dendrograma resultante da análise de agrupamento responsável pela formação das classes essenciais do SIBRACEF.....	135
16	Comportamento de diferentes composições veiculares florestais em função das classes essenciais do SIBRACEF.....	138
17	Relação do custo de transporte de madeira com as classes essenciais do SIBRACEF.....	145
18	Otimização gráfica do binômio Estrada/transporte florestal.....	148
19	Fluxograma moderno de planejamento de estrada florestal através do SIBRACEF.....	160

## LISTA DE TABELAS

01	Classificação de estrada florestal adotada na Áustria.....	20
02	Classificação de estrada florestal usada pela Hiwassee Land Company-USA.....	21
03	Estabelecimento de índices de rugosidade da pista de rolamento, em função da densidade do tráfego e do tipo de rodado de veículos de transporte florestal dos EUA.....	31
04	Índice de durabilidade da pista de rolamento de estrada florestal com revestimento primário, em função da densidade do tráfego e dos tipos de pneumáticos.....	35
05	Rendimento energético de diferentes composições veiculares de transporte florestal.....	39
06	Coefficientes de rolamento em função dos pneumáticos e do revestimento da pista de rolamento.....	45
07	Valores de raio dinâmico em função do tipo de pneumático do veículo.....	47
08	Valores de coeficiente de atrito estático em função do tipo de superfície da pista de rolamento de estrada florestal.....	49
09	Coefficientes de variação das variáveis originais selecionadas pela A.C.P.....	109
10	Matriz de correlação das variáveis independentes e relevantes.....	110
11	Matriz de correlações das variáveis independentes com os fatores após a rotação dos eixos ortogonais para a variável dependente VELCARRE.....	112
12	Matriz de correlações das variáveis independentes com os fatores após a rotação dos eixos ortogonais para a variável dependente RENDENER.....	113

13	Média, desvio-padrão e variância dos escores fatoriais da variável dependente "VELCARRE".....	116
14	Média, desvio-padrão e variância dos escores fatoriais da variável dependente "RENDENER".....	116
15	Matriz de correlações dos fatores relevantes da análise fatorial - VELCARRE.....	117
16	Matriz de correlações dos fatores relevantes da análise fatorial - RENDENER.....	117
17	Parâmetros da análise de regressão linear múltipla da variável dependente "VELCARRE".....	118
18	Parâmetros da análise de regressão linear múltipla da variável dependente "RENDENER".....	119
19	Análise de variância das variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER.....	120
20	Resumo dos resultados da análise de regressão linear múltipla da variável dependente VELCARRE.....	121
21	Resumo dos resultados da análise de regressão linear múltipla da variável dependente RENDENER.....	121
22	Resumo dos resultados da análise de regressão das variáveis velocidade de operação carregada e velocidade média de operação.....	124
23	Resumo dos resultados da análise de regressão das variáveis peso bruto total e peso líquido transportados.....	126
24	Relação das classes essenciais do SIBRACEF com seus respectivos rendimentos energéticos líquidos e brutos.....	136
25	Resumo dos resultados da análise discriminante das classes essenciais do SIBRACEF.....	141
26	Resultados da análise de variância do escore discriminante.....	142
27	Resumo dos resultados do teste de média pelo método de Scott-Knott.....	143
28	Período de retorno do capital (PRC) e taxa interna de retorno (TIR) dos investimentos requeridos pelo SIBRACEF.....	150



29	Resultados de rendimentos energéticos brutos do teste prático e da estimativa via SIBRACEF.....	156
----	---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALINHORI: alinhamento horizontal da estrada florestal

ALINVERT: alinhamento vertical da estrada florestal

AH : alinhamento horizontal

AV : alinhamento vertical

CT : comprimento total de rampa

CMT : capacidade máxima de tração do veículo

Ga : coeficiente de atrito

Gs : capacidade de subida do veículo

CONSESPE: consumo específico do motor do veículo

COMPVEIC: composição veicular

DENSIDAD: densidade média de tráfego

Dm : densidade média de tráfego

Fr : força disponível na roda do veículo

Fad : força de aderência

Fg : fator de compensação do greide

Ga : greide ponderado em aclave

Gd : greide ponderado em declive

Gca : greide compensado em aclave

Gcd : greide compensado em declive

HRB : Highway Research Boarding

I : greide de estrada

Ic : relação da caixa de mudanças(cambio)  
 Id : relação do diferencial  
 LARGESTR: largura da estrada florestal  
 K : rendimento do sistema de cambio  
 Kt : coeficiente de correção da potência nominal do motor em função da temperatura  
 Ka : coeficiente de correção da potência nominal do motor em função da altitude  
 N : carga normativa por eixo padrão do veículo  
 Nc : relação do número de curvas e a distância total  
 PBT : peso bruto total transportado por viagem  
 PBTC : peso bruto total combinado transportado por viagem  
 P : peso incidente sobre o(s) eixo(s) de tração  
 PESOTOTA: peso bruto total transportado  
 POTEFETI: potência efetiva do motor  
 PRC : período de retorno do capital  
 Rr : resistência de rolamento  
 RRs : coeficiente de rolamento  
 Ri : resistência de rampa  
 r : média ponderada do raio de curva horizontal  
 Rd : raio dinâmico do pneumático  
 RPM : número de rotações do motor por minuto  
 RENDENER: rendimento energético bruto  
 RENDENEL: rendimento energético líquido  
 SUPESTRA: superfície da pista de rolamento da estrada  
 SAEG : Sistema para Análises Estatística e Genéticas

SIBRA : "software" simulador de arquivo de dados

SIBRACEF: Sistema Brasileiro de Classificação de Estradas  
Florestais

T : torque do motor

TIR : taxa interna de retorno

USCS : Unified Soil Classification System

VELGARRE: velocidade de operação carregada

NOTA: Todas as unidades de medida de volume, peso, potência e  
distância seguem as normas da ABNT.

## RESUMO

Esta pesquisa foi desenvolvida em algumas empresas florestais brasileiras, visando obter informações essenciais ao desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Classificação de Estradas Florestais(SIBRACEF).

A filosofia que norteia o SIBRACEF o difere de qualquer outra tentativa, com ou sem êxito, realizada anteriormente a nível internacional. Na verdade, esta pesquisa iniciou-se com base na realidade nacional, procurando identificar os fatores relevantes que influenciam o binômio ESTRADA/TRANSPORTE florestal. O sistema baseia-se na segurança, na economia, na garantia de tráfego e na durabilidade das estradas e dos veículos de transporte.

Utilizou-se um sistema de amostragem estratificada, seleccionando-se os estratos em função do relevo e dos meios de transporte florestal. Empregou-se a Análise de Componentes Principais com fins exploratórios, seleccionou-se 11 variáveis relevantes das 17 originais, reduzindo-se a estrutura dos dados através da Análise Fatorial. Estabeleceram-se algumas funções de Regressão Linear Múltipla, com os escores fatoriais. As 13 classes essenciais do SIBRACEF foram estabelecidas.

das através do uso da Análise de Agrupamento e avaliadas pela Análise Discriminante, Análise de Variância e Teste de Média.

O sistema obtido é padronizado interclasses e flexível intraclasses, possuindo cada uma das 13 classes essenciais, diferentes rendimentos energéticos. Analisando-se o sistema é possível estabelecer a classe de estrada ideal para um dado meio de transporte florestal ou mesmo seleccionar o veículo ideal para a situação em questão, bem como a classe do SIBRACEF ótima.

O SIBRACEF, através de uma análise económica, traduz-se num poderoso instrumento de optimização do binómio Estrada/Transporte florestal, sendo capaz de reduzir o tempo de depreciação do capital investido na frota de veículos, os gastos com pneus e manutenção correctiva, o desgaste prematuro dos veículos etc. Possibilita, ainda, o dimensionamento da frota, com consequente redução dos custos de transporte florestal e garantia de abastecimento da indústria.

## SUMMARY

This research was unrolled at many brazillians forest companies aiming to get essencial informations to develop the Brazilian Forest Road Classification System(SIBRACEF).

The system is based on safety, economy, traffic warranty and trucks durability. Also, the SIBRACEF can establish a technical forest road rule, because it is a relationship of forest road and transportation optimization.

The sample stratification system was used to select the stratus as function of outstanding and transportation trucks. Multivariate statistical analysis was applied to select variables and to reduce date structure. Some multiple regression functions was developed with factorial scores. The SIBRACEF classes was stablished using cluster and discriminate analysis, and it was evaluated by using variance analysis and mean tests.

The SIBRACEF, through economics analysis, is a potential instrument to optimize the forest road and transportation relationship. It can reduce the investment depreciation time on trucks, fleet trucks maintenance costs, untimely trucks waste etc. So, it can establish the fleet

trucks size, consequently reducing the forest transportation costs. It can be increase the warrant of industry wood supply.

The SIBRACEF philosophy is different of others insucessfull tentatives. This research was based on Brazilian conditions and the goal was to identify the most important factors to evaluate the forest road and transportation relationship.



## 1. INTRODUÇÃO

A estrada florestal teve sua origem na pré-história e sempre foi fundamental ao homem, contribuindo decisivamente para o seu desenvolvimento. No princípio, ela era apenas trilha no interior das florestas, servindo aos pioneiros da humanidade. Pode-se defini-la como sendo a via de acesso que viabiliza o transporte de madeira da floresta, após o corte, até o local de utilização da mesma.

A civilização egípcia, há 7.000 anos a.C., já possuía estradas, mas, como os veículos com rodas somente surgiram por volta do ano 3.000 a.C., acredita-se que nesta ocasião ter-se-ia, realmente, iniciado o desenvolvimento das "rodovias".

As estradas romanas chegaram a ser consideradas pela História como a oitava maravilha do mundo, parecendo desafiar o tempo e o espaço. Os romanos aperfeiçoaram os veículos de rodas, após os gregos, com finalidades militares e de forma a resistir às grandes viagens através de sua extensa e importante rede de estradas. Na verdade, eles já entendiam que a facilidade de comunicação é fundamental a qualquer civilização e que o seu melhoramento e ampliação elevam o nível de vida humano.

O transporte de carga é assunto de segurança nacional em qualquer país do mundo e, quando ocorre a sua paralisação, pode haver consequências sociais e econômicas imprevisíveis.

A hidrovia foi, até o século passado, a mais importante via de transporte florestal da Europa Central. No Brasil, ela deixou de dominar na Região Norte do País há pouco tempo, uma vez que a exploração florestal está concentrada em áreas servidas por rodovias que interligam as florestas aos centros consumidores. As principais causas destas mudanças são a colonização da Região Amazônica e a escassez de madeira comercialmente conhecida próximo as hidrovias o que tem se intensificado nos últimos anos. Para se ter uma idéia, no período de 1975-78 a média anual de remoção da cobertura florestal foi na ordem de 1,6 milhão de hectares, ascendendo-se para 2,7 milhões de hectares em 1984. Além do mais, a hidrovia não recebeu o merecido destaque, uma vez que se tem uma boa rede fluvial.

No início deste século, a ferrovia que é uma modalidade de transporte florestal, atingiu seu auge, e até continua com certo destaque em algumas regiões, como a Sibéria, na URSS. Como requer um elevado investimento inicial e apresenta depreciação a longo prazo, a ferrovia praticamente se inviabiliza no Brasil, em virtude da atual conjuntura político-econômica.

Existem outras vias de transporte, mas para o setor florestal brasileiro a rede rodoviária, pública e privada assumiu elevado destaque na liderança do transporte de matéria-prima e de produtos florestais. A utilização de um sistema misto de vias de transporte florestal tem sido praticada no setor florestal brasileiro, dado que ele colabora para a ra-

clonização dos investimentos e, conseqüentemente, para a minimização dos custos. As situações mais comuns têm sido as combinações rodovia/ferrovia e rodovia/hidrovia, apesar dos grandes problemas ainda insolúveis, tais como o tempo demasiado de pátio, vagões ou balsas apropriados ao transporte de madeira, etc.

A finalidade maior da rede rodoviária florestal é dar acesso às regiões florestais que, por falta de meios de comunicações, têm sido inacessíveis para atender as reais necessidades do setor florestal. As rodovias florestais são responsáveis, também, pela interligação com as outras vias de transporte, que juntas formam a malha viária de acesso entre as regiões florestais e os centros consumidores de madeira.

Nos reflorestamentos, a implantação da malha rodoviária florestal requer um substancial investimento inicial. Num primeira fase, é necessária uma rede rodoviária florestal primária, capaz de viabilizar as operações de implantação e proteção, as quais geralmente são de baixo padrão construtivo. Por outro lado, por ocasião da exploração e do transporte florestal, geralmente são necessárias melhorias para adequar a rede primária às necessidades do meio de transporte florestal a ser utilizado. A minimização dos custos de transporte florestal, que pode representar mais de 50% do custo final da madeira, é de vital importância para o setor. A diminuição dos custos do transporte envolve a rede rodoviária florestal de forma quali-quantitativa, bem como os meios de transporte.

É importante salientar que existe uma divergência de qualidade da rede rodoviária florestal entre as diversas regiões do País, bem como entre as dezenas de empresas do setor, principalmente, em virtude da inexistência de uma classificação satisfatória de estradas florestais a nível nacional. Além do mais, quando da aquisição de um meio de transporte, as empresas têm se baseado quase que exclusivamente nas recomendações dos fabricantes de veículos, bem como na facilidade de aquisição dos mesmos, especialmente com relação ao custo inicial. Todavia, isto pode acarretar um custo final da madeira mais elevado, a médio e longo prazo. Na verdade, muitas tentativas frustradas foram realizadas visando estabelecer um sistema de classificação de estradas florestais, capaz de otimizar o binômio Estrada/Transporte florestal em todo o mundo.

Finalmente, dado ao grande impulso que a construção rodoviária e a indústria automobilística vêm recebendo no Brasil, nos últimos anos, tornou-se imprescindível o desenvolvimento de um sistema nacional capaz de permitir o relacionamento técnico entre as empresas florestais brasileiras, o estabelecimento de normas técnicas e métodos básicos de planificação da rede rodoviária florestal, a padronização da terminologia do setor de estrada e transporte florestal, bem como a otimização do binômio Estrada/Transporte, de modo a minimizar seus custos.

## 2. JUSTIFICATIVA

Numa rápida retrospectiva da História, pode-se verificar que as rodovias sempre foram muito importantes para o desenvolvimento sócio-econômico da humanidade. A rede rodoviária é vital ao transporte e à comunicação, que por sua vez são os meios mais importantes ao homem, em prol de sua liberdade. A dificuldade de transporte adequado, em condições viárias eficientes, pode ser apontada como um dos maiores obstáculos ao progresso sócio-econômico brasileiro.

O setor florestal brasileiro contribui com mais de 4% para a formação do Produto Interno Bruto (PIB), além de gerar bilhões de dólares de divisas para o País, através das exportações.

Atualmente, as dezenas de milhares de empresas e pessoas físicas vinculadas ao setor florestal têm varias alternativas de suprimento e operam nos mais variados ramos de atividades, produzindo para o mercado interno e externo.

Especialmente nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as florestas nativas têm sido devastadas em prol do suprimento de madeira e das atividades agropecuárias. Por um lado, os investimentos para a exploração de uma floresta nativa são mais baixos, em relação às florestas plantadas, aumentando-se os lucros imediatos. Por outro, as florestas plantadas requerem maior planejamento e investimentos iniciais, agravando-se o problema quando a madeira é destinada ao setor carvoeiro, onde ela possui baixo valor de mercado.

Até fins dos anos 60, o setor florestal brasileiro era pouco expressivo dentro da economia nacional. A atividade regular de reflorestamento cobria pouco mais de 30 mil hectares. Nos últimos anos, esse quadro foi inteiramente modificado. O reflorestamento cobre hoje uma área superior a 6,6 milhões de hectares, dos quais 2,25 milhões no período de 1979-84, o que representa um aumento médio de 400 mil hectares anuais, relativos a projetos efetivamente implantados. Todavia, para que o Brasil possa preservar um mínimo de suas florestas, em virtude do incremento do consumo de madeira pela indústria, é necessário plantar pelo menos mais 16,5 milhões de hectares até o final deste século. Conseqüentemente, esta implantação deverá requerer a abertura de novas estradas florestais, bem como consolidar as já existentes.

A rede rodoviária florestal existente nas florestas implantadas ultrapassam hoje os 600 mil quilômetros de extensão, sendo a maior parte dela de baixo padrão construtivo. Na verdade, os grandes responsáveis pela baixa qualidade da malha rodoviária florestal são, principalmente, a falta de planejamento, o baixo investimento neste setor ou mesmo a aplicação inadequada dos recursos disponíveis. Por outro lado, a inexistência de normas e métodos básicos de planificação, elaboração e execução de projetos de estrada florestal traduz-se em uma das grandes dificuldades encontradas pelo setor.

Há quatro décadas vêm se desenvolvendo estudos sobre os fatores influentes no custo de transporte florestal rodo-

viário em todo o mundo, embora eles tenham se baseado em diversos parâmetros de forma isolada ou incompleta. Sabe-se que existe um grande número de variáveis inerentes à rodovia, as quais afetam a performance e a produtividade dos veículos, bem como a própria racionalização do transporte; todavia se conhece muito pouco sobre elas, sobretudo no que tange as suas interações. Por outro lado, muito pouco tem sido feito nesse sentido em todo o mundo, onde as pesquisas visam simplesmente minimizar os custos do transporte florestal rodoviário, em determinadas condições específicas, não podendo serem extrapoladas para outras situações.

Além do mais, a garantia de abastecimento de matéria-prima florestal para a empresa e a redução do estoque de pártio da indústria são fundamentais a qualquer empresa que pretenda aumentar sua eficiência técnica e reduzir seus custos. Para se chegar a isto, é necessária uma eficiente relação Estrada/Transporte, com base técnico-econômica, de modo a se otimizar o sistema e minimizar os seus custos.

O êxito de um empreendimento florestal depende, "a priori", dos custos do transporte. Poucas pesquisas têm sido realizadas no sentido de averiguar as influências dos parâmetros inerentes à rodovia florestal na performance dos veículos de transporte.

O desconhecimento da inter-relação dos diversos parâmetros inerentes à estrada florestal e ao meio de transporte e suas interações, bem como de suas influências e comportamentos na performance e produtividade dos veículos, inviabi-

liza qualquer tentativa de otimização do sistema de transporte florestal, bem como a minimização de seus custos.

Tornou-se, portanto, imprescindível a realização de uma pesquisa científica aprofundada, sobre as condições rodoviárias brasileiras, que venha a fornecer subsídios técnicos confiáveis à racionalização e otimização do binômio Estrada/Transporte florestal e, conseqüentemente, à minimização de seus custos.



### 3. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um sistema nacional de classificação de estrada florestal, capaz de inter-relacionar os sistemas de estrada e transporte florestal.

Os objetivos específicos são:

a) analisar, técnico-economicamente, as influências de parâmetros rodoviários no desempenho dos meios de transporte florestal;

b) modernizar as técnicas de planejamento da rede rodoviária florestal;

c) fornecer subsídios à racionalização e otimização do binômio Estrada/Transporte florestal, com vistas à minimização de seus custos;

d) padronizar a terminologia do setor de estrada e transporte florestal;

e) estabelecer um sistema nacional de classificação de estradas florestais flexível e padronizado.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. O SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

#### 4.1.1. Consumo e Utilização da Madeira no Brasil

O consumo mundial de madeira, segundo SIQUEIRA<sup>53</sup>, avaliado em cerca de 3 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, vêm crescendo a uma taxa anual média de 1,4%, apesar de alguns declíneos registrados no período 1974-87, associados a eventuais crises econômicas. Mantendo-se este ritmo, o consumo de madeira, no final deste século, chegará aos 4 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, embora estimativas menos conservadoras apontem para os 6 bilhões de m<sup>3</sup>/ano em todo o mundo.

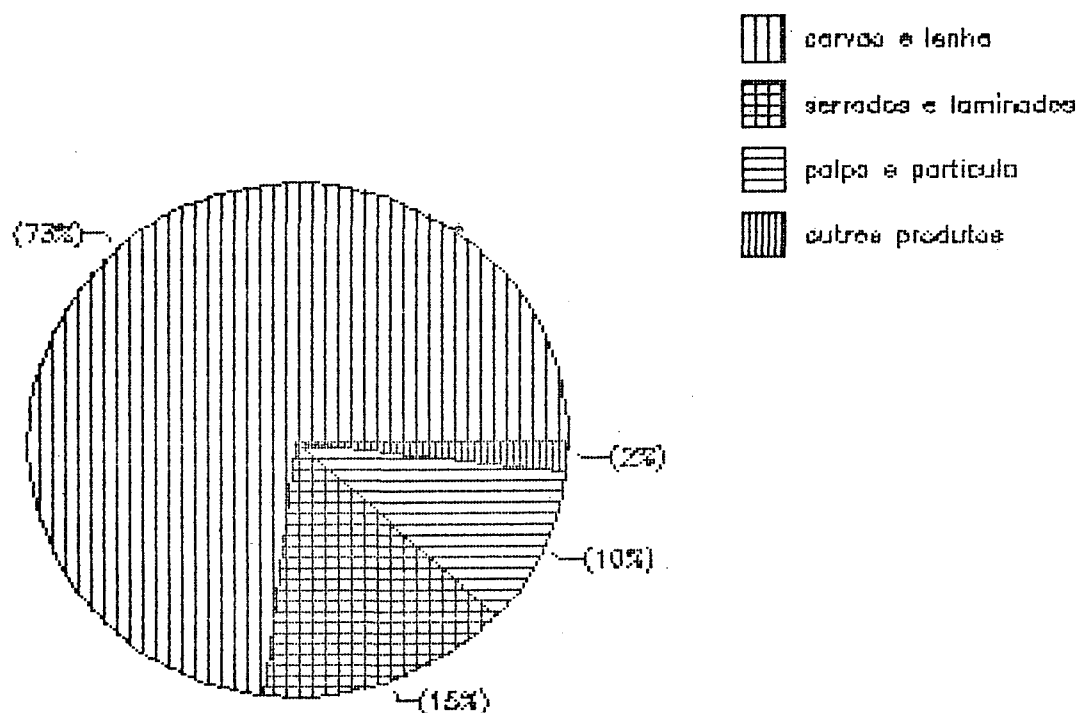
Em termos mundiais, do total da madeira extraída cerca de 46% se destina à produção industrial, 26% para serraria e laminação, 13% para produção de polpa e partículas e, apenas, 7% para a obtenção de outros produtos, tais como postes, estacas, tanino, fósforo, gasogênio, produtos químicos etc. Portanto, a maior parte da madeira consumida em todo o mundo é empregada na produção de energia primária(lenha) e secundária(carvão vegetal).

Ainda, de acordo com SIQUEIRA<sup>53</sup>, o consumo de madeira no Brasil gira em torno de 250 milhões de m<sup>3</sup>, correspondente a 0,4% do potencial madeireiro da Floresta Amazônica atual. O consumo interno de madeira cresce a uma taxa anual de 4%, quase três vezes maior do que a taxa de crescimento mundial.

Portanto, no final deste século, o consumo deverá ser dobrado. Por outro lado, como consequência do esgotamento das reservas florestais asiáticas e africanas, inevitavelmente, os consumidores de madeiras externos concentrarão seus interesses no Brasil.

O atual nível de consumo interno de madeira é ilustrado pela Figura 1.

**FIGURA 1 - Distribuição do consumo nacional de madeira, por utilização, no período 74-87**  
**FONTE: SIQUEIRA<sup>53</sup>**



Cerca de 73% do volume consumido no País, conforme ilustra a Figura 1, é utilizado na produção de carvão vegetal e, em proporção mais significativa, como lenha. Apenas 27% é utilizado como matéria-prima para a indústria florestal.

#### 4.1.2. O Patrimônio Florestal Brasileiro

O patrimônio florestal brasileiro, segundo GALVÃO<sup>18</sup>, é caracterizado pela Floresta Amazônica no Norte, pela Caa-tinga no Nordeste, pelos Cerrados no Sudeste e Centro-Oeste, pela Floresta Atlântica acompanhando o litoral e pela Floresta Temperada no Sul.

A "Floresta Tropical úmida Amazônica, localizada no Norte do País, cobre 280 milhões de hectares, um terço das reservas mundiais, constituindo a maior cobertura arbórea contínua da face da Terra. Corresponde a 82% da floresta densa do País, com um potencial madeireiro comerciável estimado em 15 bilhões de metros cúbicos. A derrubada e a queimada das florestas tornam possível a utilização dos solos de baixa fertilidade e ecologicamente frágeis da região, por um período aproximado de dois a três anos, para cultura de ciclo curto, e um pouco mais para pastagens. Isto dá origem à agricultura migratória, que impede a fixação do homem na região e conduz o aparecimento de uma floresta secundária sem expressão.

O desmatamento da Região Amazônica tem-se intensificado nos últimos anos, pois de uma média anual de 1,6 milhão de hectares, no período de 1978-80, chegou-se a 2,7 milhões

de hectares em 1984.

GALVÃO<sup>18</sup> ressalta, ainda, que as características edáficas e climáticas da Região Amazônica, aliadas à sua cobertura vegetal, permitem caracterizá-la como uma região de vocação tipicamente florestal.

A Caatinga ocorre na Região Semi-Árida do Nordeste, ocupando uma área de 90 milhões de hectares. Caracteriza-se por apresentar solos rasos, de reduzida fertilidade natural e, também, ecologicamente frágeis. A produtividade madeireira é baixa, com um volume total estimado em cerca de 1 bilhão de metros cúbicos. As secas prolongadas que ocorrem na região, periodicamente, aliadas a uma população relativamente alta, aproximadamente 24 milhões de habitantes, levam à destruição do patrimônio vegetal para fins de subsistência, podendo-se observar ainda, em determinados locais, um intenso processo de desertificação.

Os Cerrados, com uma área estimada em 180 milhões de hectares, localizados no Sudeste e Centro-Oeste, principalmente, apresentam volume de madeira estimado em 5 bilhões de metros cúbicos. Essa vegetação está sendo sistematicamente eliminada para a expansão da fronteira agrícola e para a produção de lenha para fins energéticos e industriais.

O que resta da outrora exuberante e extensa Mata Atlântica, localizada ao longo do litoral brasileiro, corresponde principalmente a áreas de preservação e como tal devem ser mantidas.

A Floresta Temperada do Sul do País, da qual a Mata de Araucária é seu mais importante representante, encontra-se praticamente devastada.

#### 4.1.3. A Evolução dos Reflorestamentos

O desenvolvimento do setor florestal, de acordo com GALVÃO<sup>18</sup>, tem contribuído na economia nacional com aproximadamente 4% do PIB, gerando anualmente mais de 40 mil empregos e propiciando a manutenção de pelo menos 300 mil empregos permanentes. A madeira gera mais de 20% da energia primária consumida no Brasil e o carvão vegetal é responsável por 40% da produção nacional de ferro gusa.

GALVÃO<sup>18</sup> & SIQUEIRA<sup>53</sup> citam que até o ano de 1987 foram reflorestados 5,5 milhões de hectares, dos quais mais de 5 milhões com pinus e eucalipto. Entretanto, para atender às necessidades energéticas e industriais, as metas de exportação e, indiretamente, preservar suas florestas nativas, o Brasil necessita plantar 16,5 milhões de hectares até o final deste século. Estima-se a produção das florestas plantadas em 60 milhões de metros cúbicos/ano. O déficit de 190 milhões de metros cúbicos/ano tem sido suprido pela depredação das florestas nativas.

Uma política mais criteriosa de orientação dos incentivos fiscais ao reflorestamento, o aumento de produtividade das florestas plantadas e o manejo sustentado de florestas nativas, em harmonia com a política geral do governo, serão importantes na reversão desse quadro.

## 4.2. O SETOR DE ESTRADAS FLORESTAIS

### 4.2.1. A Evolução das Estradas de Rodagem

As estradas de rodagem encontram suas origens nas remotas trilhas percorridas pelo homem pré-histórico e o desenvolvimento delas acompanhou sempre, na razão direta, a civilização e o progresso.

De acordo com SOUZA<sup>55</sup>, têm-se notícias dos veículos de rodas há 3.000 anos a.C. Heródoto, historiador grego, descreveu extasiado a extensa rede de estradas encontradas em suas viagens pelas terras dos faraós e cuja existência datava de milênios. Mencinou, também, uma estrada real, bem conservada, com a extensão aproximada de 3.500 quilômetros entre as antigas cidades de Sardes e Susa.

No ano 550 a.C., o rei Dario construiu ótimas estradas, interligando as principais cidades de seu domínio, ao que se atribui a unidade política de seu famoso reinado.

No auge político-econômico da China, as suas cidades eram interligadas por estradas tão bem construídas e conservadas que estão, até hoje, em pleno uso.

Os cartagineses iniciaram o calçamento de suas estradas com pedra, e seguindo esta evolução os romanos instituíram em 499 a.C. as leis das doze tábuas, que asseguravam a liberdade de circulação e a conservação regular das estradas.

Gaio Graco se notabilizou pela atenção dispensada às estradas, chegando-se a calçar com pedras as mais importantes e implantar a marcação de milhas de distância, ao longo das

estradas, em 123 a.C.

As extensas, bem construídas e conservadas estradas do Império Romano, constituíam a base da estabilidade do Império, pois os seus soldados conseguiam deslocar-se até 300 quilômetros por dia, o que naturalmente era um recorde da época.

A segurança da Idade Média se baseava no isolamento e na destruição dos meios de transporte e comunicações. Durante o Renascimento, o estado das estradas já era deplorável. Com vistas à restauração das estradas construídas pelos romanos, Carlos Magno, criou o serviço militar obrigatório, uma vez que os convocados trabalhavam nos serviços de conservação e reconstrução das mesmas.

Com a melhoria da suspensão dos veículos de tração animal, através da diminuição de seu peso e da invenção da mola em 1660, as viagens se tornaram mais rápidas, seguras e confortáveis. Em 1700, a Inglaterra resolveu iniciar a melhoria de suas estradas e, em 1816, Mac Adam descobre um tipo de pavimento revolucionário, reduzindo-se os custos de construção e conservação de estradas, sem o comprometimento de sua solidez. Esse sistema, de acordo com SOUZA<sup>55</sup>, que ainda é utilizado, denomina-se "macadame", que tomou deturpado o nome de seu inventor.

No Brasil, segundo SOUZA<sup>55</sup>, durante o período colonial, as rodovias apresentavam aspecto primitivo, sendo mais apropriadas ao trânsito de animais. Somente em 1922, iniciou-se o desenvolvimento da política rodoviária brasileira. O



mais importante salto foi dado com a Lei Federal 8483, de 27/12/1945, denominada Lei Jappert, que regulamentou o financiamento da construção de estradas federais, estaduais e municipais, e providenciou recursos financeiros para a sua construção.

#### 4.2.2. O Sistema Rodoviário Florestal

O planejamento da rede rodoviária florestal é extremamente importante a qualquer empreendimento florestal, uma vez que os custos de estrada e transporte incidem substancialmente sobre o valor final da madeira. Segundo MACHADO<sup>35</sup> a preocupação de se construir estradas de baixa qualidade técnica impõe uma solução harmoniosa entre o tráfego e as condições naturais da região: "Se se constrói uma rede rodoviária deficitária tecnicamente, visando baixar os custos de construção, isto refletirá nos custos de transporte e, conseqüentemente, no aumento do custo final da madeira, o mesmo acontecendo com uma rede rodoviária de elevado padrão construtivo, em termos florestais".

Para conhecer melhor os parâmetros inerentes à rodovia, que influenciam o transporte florestal rodoviário, é indispensável a sua subdivisão em tópicos específicos.

##### 4.2.2.1. Sistemas de classificação das rodovias florestais

As estradas podem ser classificadas sob diversos pontos de vista, quais sejam: sua importância, seu modo de cons-

trução, o material nelas empregado etc. Assim, pode-se classificá-las sob o ponto de vista político-econômico(ex.: estradas federais); quanto ao fim a que se destinam(ex.: principais); quanto à natureza da superestrutura(ex.: estrada de ferro, estrada de rodagem); quanto às condições técnicas(ex.: classe especial, classe I).

No meio florestal, para GOULD<sup>20</sup>, é comum estabelecer-se uma relação direta entre custo de estradas e seus efeitos no meio ambiente. Muitos profissionais que trabalham no setor de estradas florestais optam por situações puramente pessoais, indiferentemente do objetivo, ou mesmo da parte jurídica que envolve o setor.

Existe uma vasta gama de classificações de estradas florestais em todo o mundo. Uma boa classificação não permite problemas de terminologia. Deve ser transparente em suas características, fornecer subsídios ao planejamento das rodovias e viabilizar a avaliação das existentes. O maior obstáculo ao se estabelecer uma classificação de estradas florestais, adotando-se os critérios ora mencionados, são as diferenças filosóficas. Basicamente, segundo PATERSON<sup>40</sup>, têm-se três tipos de sistema de classificação de rodovias florestais: padronizado, o flexível e o codificado.

#### 4.2.2.1.1- O Sistema padronizado

O sistema é limitado a um pequeno e específico número de categorias de estradas florestais. Poderia ser o sistema ideal, para todas as empresas, mas envolveria mudanças radi-

cais. Alguns exemplos deste sistema podem melhor ilustrar a situação:

a) Classificação proposta pela FAO<sup>14</sup>: Essa classificação, se baseia na função da estrada florestal. Possui duas categorias básicas:

i) Estradas de acesso: seguem o mesmo padrão das estradas públicas da região. Não existe, portanto, uma definição de qual estrada pública, naqueles casos onde existem mais de um padrão;

ii) Estradas de alimentação: visam dar acesso às florestas e diminuir a distância de extração florestal. Geralmente são de baixo padrão construtivo e temporárias.

b) Classificação adotada na Áustria: Essa classificação possui três classes de estrada florestal. A primeira, denominada Principal, é destinada à conexão e desenvolvimento, devendo possuir um bom padrão de construção e permitir o tráfego de veículos durante todo o ano. Geralmente, possui uma única pista, podendo até ser asfaltada, naqueles casos de alta densidade de tráfego; a segunda, dita Secundária, é responsável pela divisão da floresta em áreas de exploração e pela conexão dos pátios de estocagem na floresta com as estradas principais. Deve possuir um padrão de construção mais simples, portanto, recomendada para condições climáticas favoráveis; finalmente, a terceira classe, denominada Ramal, é responsável pela conexão da área de corte florestal aos pá-

tios de estocagem na floresta, sendo que a sua pista de rolamento é a própria superfície do terreno, sendo usada apenas para a extração florestal, em condições climáticas favoráveis. A tabela 1 fornece a classificação austríaca e suas especificações técnicas.

**TABELA 1 - Classificação de Estrada Florestal adotada na Áustria**

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	CLASSE DE ESTRADA FLORESTAL		
	Principal	Secundária	Ramal
Larg.plataforma(m)	5,0-5,5	4,5-5,0	3,0-4,0
Larg.pista rolamento(m)	3,5-4,0	3,0-3,5	-
Greide máximo(%)	9	10-12	12-16
Greide mínimo(%)	2-3	2-3	3-4
Peso max.pneu(ton)	5-7	5-7	1-1,5

FONTE: FAO<sup>15</sup>

c) Classificação usada pela Hiwassee Land Company-EUA: A rede rodoviária é classificada em três categorias, diferenciando-se entre si pelo padrão de construção, pelo seu traçado geométrico e tipo e intensidade do tráfego. Através da tabela 2, pode-se verificar as características técnicas de cada classe de estrada florestal.

#### 4.2.2.1.2. Sistema flexível

O sistema envolve um grande número de classes bem definidas de estradas, devendo ser grande o suficiente para

representar todas as condições das diversas empresas florestais. Neste caso, cada empresa adota aquelas classes compatíveis a sua situação específica. Por exemplo, pode haver uma empresa "A" adotando as classes 1 e 3, e outra empresa "B" optando-se pelas classes 3 e 7, e assim por diante.

**TABELA 2 - Classificação de Estrada Florestal usada pela Hiwassee Land Company - USA**

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	CLASSE DE ESTRADA FLORESTAL		
	Principal	Secundária	Acesso
Greide máximo(%)	8 F ou A <sup>1</sup>	12 F ou A <sup>2</sup>	18 F/ 12 A
Grau de curvatura	Máximo 40	máximo 55	máximo 100
Ralo mínimo(m)	30	20	10
Largura da estrada(m)	acima de 8	3,5-4,8	3,0-4,0

**FONTE: WALBRIDGE & BENTLEY<sup>63</sup>**

F = sentido favorável(declive para o veículo carregado);

A = sentido adverso(aclive para o veículo carregado);

<sup>1</sup> Aceita-se até 10% numa distancia máxima de 150 metros;

<sup>2</sup> Aceita-se até 15% no sentido favorável, numa distancia máxima de 150 metros

#### 4.2.2.1.3. Sistema codificado

O sistema adota uma série de símbolos, cada qual representando uma especificação técnica da estrada, bem como sua descrição. Dessa forma, não há necessidade de uma classificação específica ou várias para cada empresa, ou mesmo uma para todas. Uma empresa pode seleccionar, através de símbolos, por exemplo, as características técnicas que desejar e esta-

belecer a sua própria classificação. Como não existe um número fixo de classes, o sistema é muito flexível, mas não é padronizado.

Em resumo, a classificação de estradas florestais é ainda um assunto muito polêmico em todo o mundo, mas PATERSON et alii<sup>40</sup> acreditam que, pelo menos aparentemente, o Sistema Padronizado é o que melhor satisfaz na atualidade, embora seja pouco prático. Na verdade, sempre existirá divergências de opiniões, uma vez que hoje as características técnicas são selecionadas arbitrariamente.

#### 4.2.3. Parâmetros Técnicos

Nessa fase, procurou-se identificar as variáveis de estrada mais importante, que afetam o desempenho dos meios de transporte florestal rodoviário, de forma individualizada ou interativa, atentando-se para a conceituação dos mesmos.

Embora exista diversas variáveis inerentes à rodovia florestal que influenciam a performance dos veículos de transporte, serão descritas somente as mais importantes.

##### 4.2.3.1. Fatores geométricos da rodovia florestal

Tem-se verificado que os fatores mais significativos para a avaliação da performance dos meios de transporte rodoviário florestal são os geométricos, os quais são descritos a seguir:

#### 4.2.3.1.1. Greide

Denomina-se greide ou grau de rampa a inclinação vertical do eixo da estrada florestal, formando-se os aclives e declives ajustados por uma curva de concordância vertical.

De acordo com BYRNE et alii<sup>3</sup>, muitos conservadores limitam o greide de estradas florestais numa faixa de 3% adverso a 8% favorável. Do ponto de vista econômico, a opção por greides mais acentuados, visando diminuir a extensão e os custos iniciais da estrada florestal, pode acarretar uma elevação drástica dos custos de transporte. Em termos de conservação e estabilização de estradas, em situações de greide acentuado, -geralmente são necessários mais recursos financeiros e uma manutenção mais apurada.

Estudos realizados por YAMAMOTO<sup>61</sup> mostram que greides suaves podem induzir o aumento da velocidade de operação, enquanto o inverso acontece em situações de greides acentuados. O simples fator greide influencia significativamente a performance dos veículos, mas o autor não encontrou resultados significativos na interação com outros fatores geométricos.

A oscilação constante de greides adversos e/ou favoráveis, segundo BYRNE et alii<sup>3</sup>, traduz-se numa média de velocidade semelhante aos greides sustentados, favoráveis ou adversos.

#### 4.2.3.1.2. Alinhamento horizontal

O alinhamento horizontal, de acordo com HOLMES<sup>24</sup>, normalmente é influenciado pela topografia do terreno, pela

velocidade de projeto, pela distância de visibilidade, pelo tipo de solo etc.

Os efeitos do alinhamento horizontal da estrada florestal, na velocidade de operação, segundo BYRNE et alii<sup>3</sup>, é mais importante nos casos de estradas de pista única, sobretudo nas situações de greide favorável. De modo análogo, conforme conclusões do estudo de YAMAMOTO<sup>59</sup>, a velocidade de operação é substancialmente mais baixa nas estradas florestais com raio de curva horizontal inferior a 20 metros.

Segundo BYRNE<sup>2</sup>, a técnica adequada de se expressar o alinhamento horizontal é através da curvatura relativa que estabelece uma relação entre o raio médio das curvas e a média ponderada do número de curvas por quilômetro, sendo expressa na forma de Índice de Alinhamento Horizontal (H). A interpretação dos resultados, transformados para o sistema métrico e adequados à realidade técnica atual, é a seguinte:

Execelente.....	H $\geq$ 50
Bom.....	25 $\leq$ H $<$ 50
Regular.....	10 $\leq$ H $<$ 25
Ruim.....	H $<$ 10

#### 4.2.3.1.3. Largura da estrada florestal

A largura da estrada florestal exerce influência sobre a velocidade de operação, sobretudo em situações adversas de alinhamento horizontal e greide. Através de um exemplo de YAMAMOTO<sup>60</sup>, pode-se verificar que em estradas com largura variando entre 3,6 a 5,5 metros a velocidade de operação aumenta linearmente, indicando que é um dos fatores responsáveis pela eficiência do transporte.



A largura da estrada é considerada um dos três mais importantes parâmetros de avaliação de rodovias florestais, juntamente com greide e alinhamento horizontal.

#### 4.2.3.1.4. Distância de visibilidade

A distância de visibilidade, é definida por MACHADO<sup>35</sup> como aquela mínima necessária para que dois motoristas, conduzindo veículos em sentido contrário, possam evitar o choque, recorrendo-se aos freios.

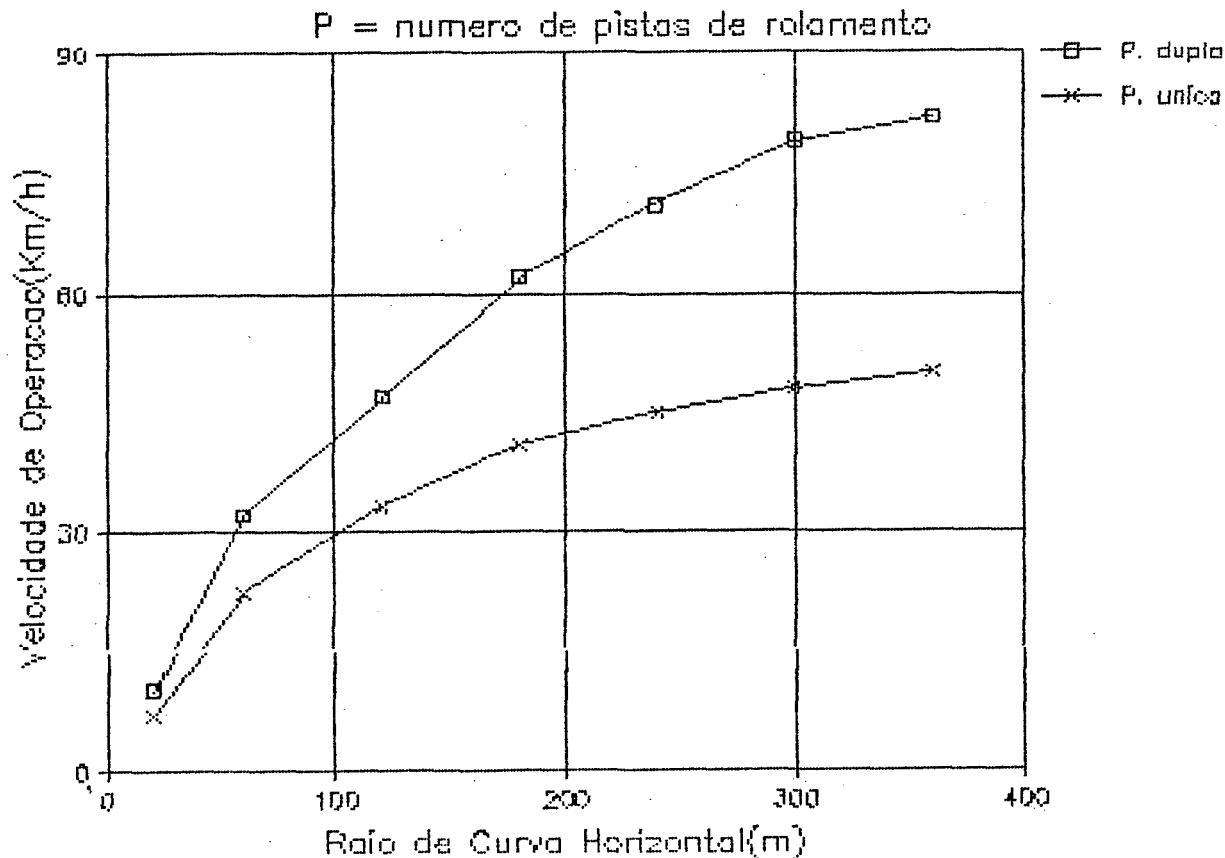
A distância de visibilidade é importante, principalmente naqueles casos de estradas com pista dupla e de grande velocidade de projeto, pois podem até governar a velocidade do tráfego. Na verdade, ela não é tão importante para o setor florestal, uma vez que altas velocidades são condições atípicas.

Em rodovias de pista dupla, o limite seguro de velocidade de operação, considerando que o veículo utiliza apenas uma das pistas nas curvas de concordância horizontal, é calculado em função do raio de curva e da superelevação. Por outro lado, nas estradas de pista única, onde não é possível o tráfego simultâneo de dois veículos, geralmente são utilizados os alargamentos de pista de rolamento, para o estacionamento temporário. A distância de visibilidade, neste caso, segundo BYRNE et alii<sup>3</sup>, é fundamental para a segurança do tráfego, pois deve garantir que dois veículos se aproximando em sentidos contrários não se colidam.

#### 4.2.3.1.5. Raio de curva de concordância horizontal

Também denominado raio de curvatura horizontal, influencia significativamente a velocidade do tráfego quando não está controlado pelo alinhamento vertical da estrada florestal. A figura 2 ilustra a influência do raio de curva horizontal, na velocidade de operação, onde esta não se encontra controlada pelo greide, em diferentes larguras de pista de rolamento.

**FIGURA 2 - A influência das curvas horizontais, das estradas florestais, na velocidade de operação dos veículos de transporte**  
**FONTE: BYRNE et alli<sup>2</sup>**



#### 4.2.3.2. Superfície da pista de rolamento

Nas estradas florestais, encontram-se com maior frequência superfícies de pista de rolamento, formadas por material granular. Na verdade, é comum encontrar diferentes tipos de material constituindo a camada superior da estrada florestal, independentemente da umidade, massa específica, composição mineralógica e forma dos grãos, tendo cada um deles sua influência particular no desempenho dos veículos de transporte.

Os principais tipos de pavimentos, segundo MACHADO & MALINOVSKI<sup>36</sup>, são os rígidos, os flexíveis, os revestimentos primários e os naturalmente encontrados após a abertura da rodovia. Cada um destes pavimentos afetam o desempenho dos veículos de modo particular.

#### 4.2.3.3. Índice de desgaste da pista de rolamento

Denomina-se índice de desgaste da pista de rolamento a relação entre a somatória dos deslocamentos verticais de materiais da superfície da pista de rolamento, de sua posição original, pelo número de pontos de medições. Considera-se o deslocamento de material para cima e para baixo, do nível original da superfície.

Na verdade, não é uma tarefa muito simples estimar o índice de desgaste da pista de rolamento, pois isso requer um planejamento criterioso e um processo rigoroso de mensuração dos deslocamentos verticais dos materiais da superfície da estrada. Pode-se estimar esse índice de desgaste (ID), através

da fórmula matemática proposta por EKSE<sup>16</sup>:

$$ID = d / (300 \cdot p)$$

d = somatória das alturas dos deslocamentos verticais de material da superfície da pista de rolamento da estrada florestal(mm);

p = número de pontos de leitura.

Vale salientar que o índice de desgaste é diretamente proporcional ao desgaste da pista de rolamento, em detrimento do tráfego(tipo e densidade). EKSE<sup>12</sup> afirma que o desgaste da pista de rolamento, em estradas florestais constituídas de revestimento primário granular, é maior em 25% nas curvas horizontais se comparado com as tangentes.

#### 4.2.3.4. Índice de rugosidade da pista de rolamento

A superfície da pista de rolamento de uma estrada florestal é muito importante para o engenheiro rodoviário, uma vez que é sobre ela que o profissional pode agir. As condições climáticas e as situações dos pneumáticos são apenas dados do problema. Duas características do revestimento de uma estrada são essenciais para a aderência dos pneumáticos, segundo FAURE & GRATIA<sup>17</sup>:

##### 4.2.3.4.1. Macrorrugosidade(rugosidade)

A macrorrugosidade fornece uma indicação sobre a rugosidade geométrica média do revestimento e, por conseguinte,

sobre a sua capacidade de drenagem. Influi principalmente na velocidade de operação, pois permite a expulsão da película de água, se houver, sendo portanto fundamental nas altas velocidades.

#### 4.2.3.4.2. Microrrugosidade(aspereza)

Microrrugosidade é a propriedade que possuem os agregados da superfície da pista de rolamento de uma rodovia de apresentarem aspereza e resistência ao polimento dado à ação do tráfego. Existe uma relação direta entre a microrrugosidade de uma superfície e a aderência dos pneumáticos, ou seja, para uma mesma velocidade de operação, quanto maior é a aspereza da superfície da estrada, maior será também a aderência longitudinal. Por outro lado, para um mesmo índice de aspereza, o aumento da velocidade de operação acarreta queda na aderência longitudinal.

Da combinação da macro e microrrugosidade, pode-se obter quatro tipos básicos de revestimento:

- . Boa macro e boa microrrugosidade;
- . Boa macro e má microrrugosidade;
- . Má macro e boa microrrugosidade;
- . Má macro e má microrrugosidade.

Na verdade, apenas a primeira combinação é considerada excelente, do ponto de vista de aderência, uma vez que ela é ao mesmo tempo rugosa (com boa macrorrugosidade) e áspera (com boa microrrugosidade). Vale salientar ainda que uma macrorrugosidade geométrica suficiente e uma microrrugosidade que subsiste após uma longa ação do tráfego são indispensá-

veis, sobretudo, naqueles pontos de grande solicitação, tais como nas curvas de concordância horizontal e nos aclives acentuados.

Nos casos de estradas florestais, de acordo com EKSE<sup>12</sup>, com ou sem revestimento primário, a rugosidade aparece em virtude dos efeitos abrasivos do tráfego sob a ação das chuvas, causando distúrbios físico-mecânicos nas superfícies não estabilizadas, ou naturalmente deficientes, como material de revestimento.

O índice de rugosidade da pista de rolamento pode ser estabelecido através do somatório do número de vezes em que a aceleração vertical da gravidade é igual ou maior do que um valor numérico conhecido, multiplicado por seu valor de correspondência. Este valor é somado ao número de vezes em que a aceleração vertical da gravidade é igual ou superior a um outro valor numérico superior conhecido, multiplicado por seu valor de correspondência, e assim sucessivamente. Quanto menor é o índice de rugosidade, melhor é a qualidade da superfície da pista de rolamento do ponto de vista de vibração no veículo. A correta determinação do índice de rugosidade requer um controle rigoroso da distância e dos intervalos de tempo, durante os levantamentos e medições da aceleração dos chassis do veículo de transporte.

Segundo IWAKAWA<sup>29</sup>, nos casos de estradas florestais com grande variação de raios de curva horizontal e inferiores a 30 metros, é necessário computar a aceleração da gravidade para se estabelecer adequadamente o índice de rugosidade. O

mesmo autor recomenda avaliar superfície da pista de rolamento, através do estabelecimento da aceleração na cabine do veículo de transporte florestal.

A tabela 3, compilada dos estudos de EKSE<sup>12</sup>, mostra um resumo de índices de Rugosidade em função do número de viagens carregadas e descarregadas de caminhões florestais, envolvendo veículos com pneus de rodado simples e duplo.

**TABELA 3- Estabelecimento de índices de rugosidade da pista de rolamento em função da densidade do tráfego e do tipo de rodado de veículos de transporte florestal dos EUA**

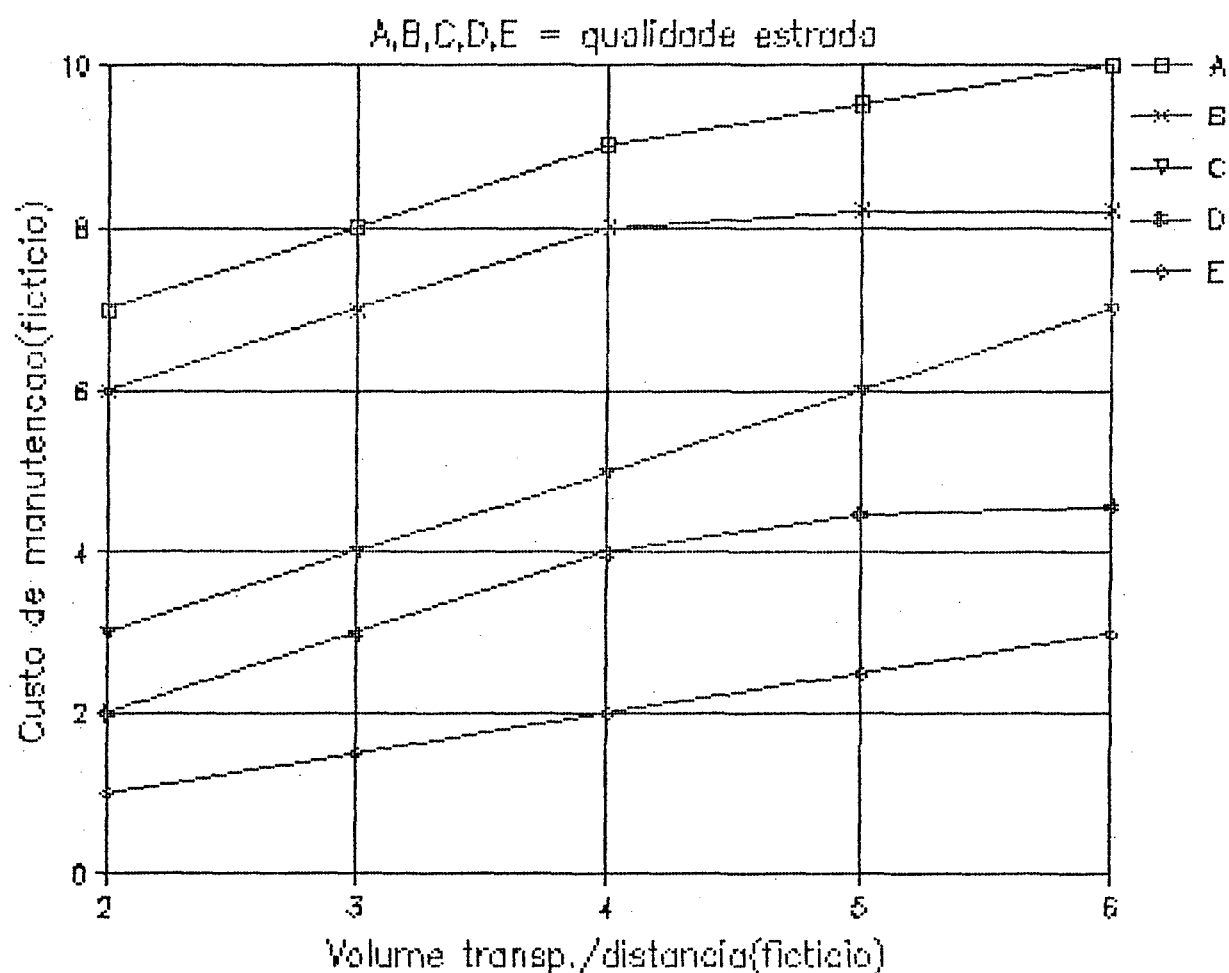
DENSIDADE DE TRÁFEGO TOTAL	PNEUS SIMPLES (23.00 X 23.5)	PNEUS DUPLOS (12.00 X 24.00)
100	1,5	2,3
300	3,2	4,1
500	3,8	6,5
700	6,2	8,5

FONTE: EKSE<sup>12</sup>

Estudos realizados por IWAKAWA<sup>31</sup> mostram que os fatores inerentes à rodovia florestal que mais afetam os custos de manutenção dos veículos de transporte de madeira são a largura da pista de rolamento, o raio de curvatura horizontal e a microrrugosidade(aspereza) da pista de rolamento.

Através da figura 3, observa-se a relação entre o volume de madeira transportada e a distância percorrida versus o custo de manutenção dos veículos.

**FIGURA 3 - Comportamento dos custos de manutenção de veículos em função da carga bruta transportada, da distancia de transporte e da qualidade da estrada florestal**  
**FONTE: IWAKAWA<sup>32</sup>**



A figura 4, mostra uma relação entre a qualidade da superfície da pista de rolamento de estradas florestais e os níveis de aceleração vertical dos chassis de veículos florestais.



**FIGURA 4 - Comportamento da aceleração dos chassis do veículo em função da qualidade da estrada florestal**  
**FONTE: IWAKAWA<sup>32</sup>**



#### 4.2.3.5. Índice de durabilidade da estrada florestal

Os índices de desgaste e de rugosidade são, de acordo com EKSE<sup>12</sup>, importantes na determinação do índice de durabilidade adequado de uma estrada florestal, com pista de rolamento constituída de pavimento rígido, semi-rígido, flexível, revestimento primário ou mesmo sem revestimento. A combinação destes dois índices representa uma avaliação das condições da estrada florestal em termos de durabilidade.

A fórmula para se estabelecer o índice de durabilidade da pista de rolamento, proposta por EKSE<sup>12</sup>, é a seguinte:

$$IDE = 15 - (ID + IR)$$

, em que

IDE = índice de durabilidade da pista de rolamento;

ID = índice de desgaste da pista de rolamento;

IR = índice ideal de durabilidade da pista de rolamento.

Através da tabela 4, pode-se verificar a diminuição da durabilidade da pista de rolamento, em virtude da densidade do tráfego. Vale salientar que os veículos utilizados na pesquisa de EKSE<sup>12</sup> foram composições veiculares constituídas por um cavalo-mecânico, de tração 6 x 4 em tandem e um semi-reboque com cambão telescópico, com um PBTC médio igual a 70 toneladas.

MACHADO & MALINOVSKI<sup>36</sup> lembram que o número de solicitações por eixo padrão poderá oferecer maior precisão neste tipo de estimativa, se comparado à densidade do tráfego, que muitas vezes é heterogênea.

Na verdade, o desgaste superficial da pista de rolamento pode induzir o aumento da rugosidade (macro e micro) e, conseqüentemente, aumentar a vibração no veículo, ocasionando a fadiga prematura de seus componentes. O desgaste da superfície da pista de rolamento das estradas florestais, ocorre em virtude da perda de finos desagregados e, posteriormente,

da perda de material granular, ocasionando o aparecimento da rugosidade.

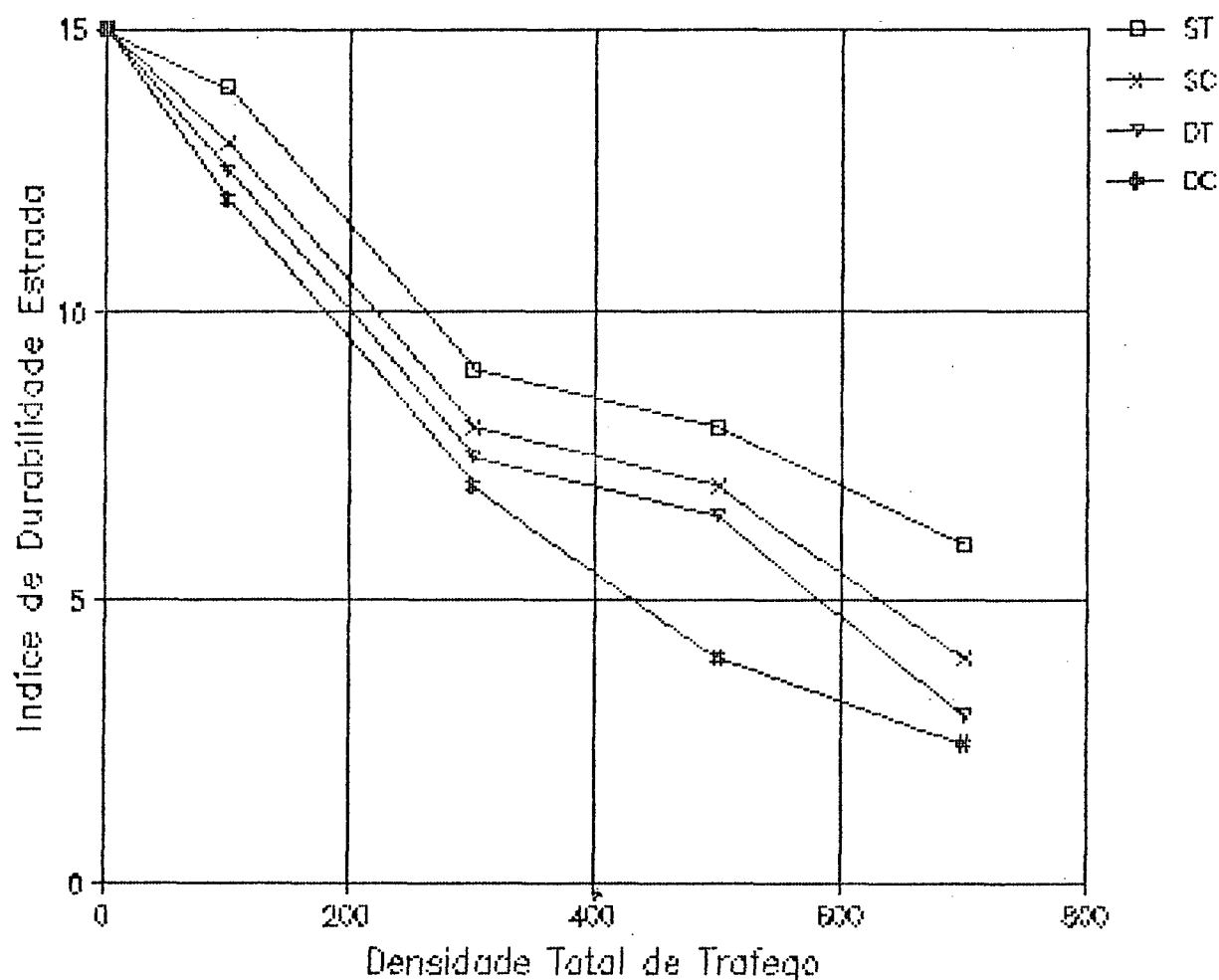
**TABELA 4 - índice de durabilidade da pista de rolamento de estrada florestal com revestimento primário em função da densidade do tráfego e dos tipos de pneumáticos**

DENSIDADE TRÁFEGO TOTAL	PNEUS SIMPLES		PNEUS DUPLOS	
	Tangente	Curva	Tangente	Curva
100	13,2	13,0	12,3	12,2
300	10,7	9,6	9,7	9,5
500	9,7	7,8	6,5	4,9
700	6,5	4,0	3,6	3,3

FONTE: EKSE<sup>12</sup>

A figura 5 resume alguns resultados da pesquisa de EKSE<sup>12</sup>, com relação à durabilidade da superfície da pista de rolamento, com revestimento primário, em época de seca. Quando o índice de durabilidade estimado é superior a "7", não há necessidade de manutenção preventiva da pista de rolamento da estrada florestal, uma vez que esta se encontra em condições ideais de uso; se estiver entre "4" e "7", então requer uma manutenção da pista de rolamento apenas conservativa, mas periódica, e se for menor do que "4", existirá a necessidade de uma manutenção emergencial, já que a condição é intolerável para o tráfego de veículos de transporte florestal.

**FIGURA 5 - índice de durabilidade do revestimento primário em função da densidade de tráfego e do tipo de rodado do veículo**  
**FONTE: EKSE<sup>12</sup>**



ST = Rodado simples operando em tangente;  
 SC = Rodado simples operando em curva horizontal;  
 DT = Rodado duplo operando em tangente;  
 DC = Rodado duplo operando em curva horizontal.

#### 4.2.3.6. Avaliação qualitativa da rede rodoviária florestal

Os diversos métodos existentes para se avaliar um projeto de estradas florestais, de acordo com YAMAMOTO<sup>59</sup>, ba-

sejam-se em fatores rodoviários isolados, por isso não fornecem bons resultados. Na verdade, somente com a interação qualitativa de vários parâmetros, tais como a largura da pista de rolamento, o alinhamento horizontal e vertical, a superfície da pista de rolamento da estrada, a velocidade de operação, a densidade de tráfego etc: é que se pode avaliar adequadamente uma malha rodoviária florestal e o seu comportamento em função do meio de transporte.

#### 4.3. O SETOR DE TRANSPORTE FLORESTAL BRASILEIRO

##### 4.3.1. A Evolução do Transporte Rodoviário

Comenta-se que com a descoberta da vulcanização da borracha por Goodyear, com a fabricação dos primeiros pneumáticos por Dunlop, com o aperfeiçoamento da indústria metalúrgica produzindo materiais cada vez mais resistentes, com a construção do primeiro motor de combustão interna por Daimler, funcionando com benzina e, finalmente, com a industrialização do petróleo em larga escala, foi possível o advento do veículo automotor. Ainda, de acordo com SOUZA<sup>55</sup>, em 1769, o francês Cugnot construiu o primeiro carro a vapor. Os franceses Penhard e Lavassor, em 1890, construíram o primeiro automóvel com motor à benzina. Mas somente em 1909, Henry Ford inicia nos Estados Unidos a construção em série de automóveis, revolucionando, assim, o setor.

Até 1923, no Brasil, os veículos automotores então existentes destinavam-se quase que exclusivamente aos trans-

portos urbanos, dada a escassez de estradas de rodagem. Em 1908, a primeira viagem de automóvel entre o eixo Rio-São Paulo, foi realizada em cerca de 876 horas, o que foi uma grande odisséia. Mas em 1925, a segunda viagem, num percurso mais direto e melhorado, com uma extensão de 580 quilômetros, durou apenas 144 horas. Atualmente, em virtude da melhoria da estrada e dos veículos de transporte, pode-se realizar esta viagem em poucas horas.

A evolução do transporte nas últimas décadas foi muito grande. Iniciou-se com as "Maria-fumaças" e chegou-se ao "trem-bala"; dos aviões "DC-3" aos concordes; dos "caminhões toco" aos "rodotrens". Alguns setores, porém, de acordo com a SAAB SCANIA<sup>50</sup>, não priorizaram o desenvolvimento mais amplo, preocupando-se apenas com o conforto.

O custo do transporte é fundamental, podendo-se até afirmar que boa parte do transporte no Brasil está sendo realizada a custos acima do aceitável. Os motivos são os mais variados, predominando, as condições de operação de carga e descarga e a estrutura rodoviária nacional.

A principal causa da evolução dos meios de transporte rodoviário no Brasil, nos últimos anos, é o aproveitamento do combustível. Seja ele álcool, diesel ou outro qualquer, pela lógica econômica, tenderá a ter seus preços elevados constantemente, nos casos de economias instáveis, como a existente no País atualmente. Na verdade, o que todo fabricante deseja é produzir um veículo que transporte o máximo de carga permissível, com o menor consumo de combustível. A economicidade

de combustível está diretamente relacionada ao rendimento energético de cada veículo de transporte, tendendo-se a aumentar com a capacidade de carga do meio de transporte, conforme ilustra a tabela 5.

**TABELA 5 - Rendimento Energético de diferentes composições veiculares de transporte florestal**

COMPOSIÇÃO VEÍCULAR	RENDIMENTO ENERGÉTICO (T.Km/L)	PERCENTUAL DE AUMENTO
Leve	15	0
Média	27	+ 80
Semi-pesada	35	+ 133
Pesada	52	+ 247
Treminhão	60	+ 300

=====

FONTE: SAAB SCANIA<sup>50</sup>

O Investimento Inicial é outro parâmetro importante, mas infelizmente ele é muitas vezes interpretado erroneamente, pois se analisa o assunto dentro de um critério simplista: "compara-se o preço de dois caminhões, sem levar em conta os demais fatores significativos". Frequentemente, presenciavam-se decisões tomadas pelo menor preço unitário, sendo o preço da frota muito maior. Uma das formas mais simples de se evitarem essas decisões precipitadas é a análise do desempenho dos veículos. Nesse caso, são importantes a velocidade de operação e a capacidade de carga oferecidas pelas unidades de transporte; porém também é fator integrante do desempenho o

tempo de carga e descarga. Na verdade, segundo a SAAB, SCANIA<sup>49</sup>, o desempenho é fundamental, pois pode viabilizar ou não uma opção de transporte, não só por ação do veículo, mas, principalmente, pelo serviço a executar e o sistema de transporte adotado.

É óbvio, de acordo com a SAAB SCANIA<sup>50</sup>, que uma unidade de transporte pesada, pela sua maior potência, construção mais robusta e maior velocidade de operação, deva ter seu preço maior do que as unidades médias, leves ou mesmo pesadas de menor desempenho. Todavia, o que se deve verificar é se este maior desempenho, aliado às condições permitidas de utilização, compensa ou não este maior investimento inicial. Algumas empresas florestais não poderão usufruir de opções mais econômicas devido às restrições de uso que existem para composições mais atuais de transporte florestal rodoviário, tais como a largura da estrada, a estrutura viária, as obras de arte, o sistema de carga e descarga etc. Além do mais, existem restrições técnicas, por exemplo, que podem inviabilizar o uso do rodotrem.

#### 4.3.2. Conceitos Básicos (FONTE: SAAB SCANIA<sup>50</sup> & VOLVO<sup>57</sup>)

a) Caminhão : veículo automotor, destinado ao transporte de carga superior a 1.500 quilogramas, porém limitado a uma carga máxima por eixo, segundo a Lei da Balança;



b) Reboque : veículo de um ou mais eixos, que se move tracionado por um veículo automotor;

c) Semi-reboque : veículo de um ou mais eixos traseiros, que se move articulado e apoiado em sua unidade tratora;

d) Veículo articulado : composto de duas unidades sendo a primeira um caminhão-trator e a segunda, um semi-reboque;

e) Veículo conjugado : Composto de duas unidades, sendo a primeira um veículo automotor e a segunda, um reboque;

f) Tara do veículo : Peso do veículo descarregado, mas com todos os equipamentos necessários ao serviço no qual vai operar. Geralmente, para efeito de cálculo, deve-se pesar o veículo nas condições acima mencionadas, acrescido do peso do motorista e dos 3/4 de combustível no(s) tanque(s);

g) Carga útil : peso total da carga a ser transportada de uma única vez, por um determinado veículo;

h) Peso específico da carga : peso unitário da carga a ser transportada, sendo no caso florestal, expressa em  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{t/m}^3$ ;

i) Volume útil : volume máximo que o meio de transporte oferece para acondicionamento da carga;

j) Peso bruto total(PBT): peso bruto total máximo(carga + tara) que o veículo trator suporta em função da resistência dos chassis, suspensão, eixos etc;

k) Peso bruto total combinado(PBTC): peso máximo(carga+tara) que a combinação veicular(veículo trator+reboque(s) e/ou semi-reboque) suporta em função da potência do motor, da resistência dos chassis, da suspensão, dos eixos etc;

l) Capacidade de carga por eixo(Lel da Balança): peso máximo(carga + tara) que cada eixo pode suportar em função de normas legais e de sua resistência;

m) Capacidade máxima de tração(CMT): máximo de peso total que um veículo pode tracionar. Geralmente, é especificada pelo fabricante, em função da potência do motor e dos elementos da transmissão.

#### 4.3.3. Classificação dos Veículos

Com vistas a facilitar o entendimento da classificação dos veículos nacionais empregados no setor florestal, optou-se por subdividir o assunto em dois níveis, quais sejam:

#### 4.3.3.1. Tipos de veículos

a) Simples(caminhão): constitui-se de uma única unidade tratora e transportadora, com tração do tipo 4 x 2, 4 x 4, 6 x 2 ou 6 x 4;

b) Articulados(carreta): composto de uma unidade tratora(cavalo-mecânico), geralmente com tração 4 x 2 ou 6 x 4, e um semi-reboque acoplado;

c) Conjugados(biminhão): constitui-se de uma unidade tratora simples, com tração 4 x 2 ou 6 x 4, e um reboque acoplado;

d) Rodotrem: é uma combinação de uma composição articulada e um reboque acoplado(cavalo-mecânico + semi-reboque + reboque);

e) Treminhão: é uma combinação de uma unidade tratora simples, geralmente com tração 6x4, com dois reboques acoplados.

#### 4.3.3.2. Classes de veículos

a) Leves: simples 4 x 2 e 4 x 4;

b) Médios: simples 6 x 2 e 6 x 4;

c) Semi-pesados: articulados e conjugados;

d) Pesados: rodotrem e treminhão.

#### 4.3.4. Aspectos de Desempenho

Os principais indicadores para uma averiguação adequada do desempenho dos veículos empregados no transporte, em determinadas condições de utilização, são a resistência ao rolamento, a resistência de rampa, a força de aderência, a força disponível nas rodas, a capacidade de subida e a velocidade de operação.

##### 4.3.4.1. Resistência ao rolamento

Pode-se conceituar a resistência ao rolamento, de acordo com a VOLVO<sup>57</sup>, como a força necessária para superar os efeitos de oposição ao movimento, entre os pneus e a superfície da pista de rolamento, causados basicamente pela penetração dos pneus no solo e/ou sua flexão.

Estudos realizados por MACNALLY<sup>38</sup> mostram que os fatores que influenciam a resistência ao rolamento são a velocidade de operação, os pneumáticos (dimensões, material de construção, pressão interna, temperatura, design etc.), o grau de curvatura da estrada, entre outros. Todavia, dadas as dificuldades para se estabelecerem esses valores na prática, tornou-se comum se basear em apenas quatro itens:

- a) padrão de estrada;
- b) velocidade do tráfego de operação e de projeto;
- c) condições da superfície da estrada florestal;
- d) peso bruto total ou Peso bruto total combinado.

Para se calcular a resistência ao rolamento, pode-se utilizar a fórmula matemática proposta pela VOLVO<sup>57</sup>:

$$R_r = PBTC \cdot RRs$$

$R_r$  = resistência ao rolamento(Kg);

PBTC = peso bruto total combinado(t);

RRs = coeficiente de rolamento(Kg/t).

Através da tabela 6, compilada de trabalhos de MACNALLY<sup>38</sup> e SAAB SCANIA<sup>51</sup>, verificam-se diversos valores de coeficiente de rolamento, em função da pista de rolamento.

**TABELA 6- Coeficientes de rolamento em função dos pneumáticos e da pista de rolamento**

TIPO DE REVESTIMENTO	CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE ROLAMENTO	RRs (Kg/t)
Rígido	liso	8
	médio	9
	rugoso	10
Flexível	liso	10
	médio	13
	rugoso	15
Estabilizado Granulometricamente	devidamente compactado	15
	moderadamente compactado	18
	fracamente compactado	20
	sem compactação	25-90
Sem Revestimento	argiloso seco	25-45
	argiloso úmido	40-80
	arenoso úmido	75
	arenoso seco	100-120

FONTE: MACNALLY<sup>38</sup> & SAAB SCANIA<sup>51</sup>

#### 4.3.4.2. Resistência de rampa

Denomina-se resistência de rampa a força contrária ao movimento ascendente dada a ação da gravidade, que precisa ser vencida à medida que o veículo avança sobre essa rampa. A VOLVO<sup>57</sup> recomenda a seguinte expressão:

$$Rl = (PBTC \cdot I) / 100 \text{ , em que}$$

$Rl$  = Resistência de rampa(kg);

$I$  = Greide ou grau de rampa(%).

Outras resistências ao movimento poderiam ser ainda mencionadas; todavia, em virtude da baixa velocidade de operação do tráfego florestal, a força de resistência total é expressa simplesmente pela somatória das resistências ao rolamento e de rampa.

#### 4.3.4.3. Força disponível na roda do veículo

A força disponível na roda, segundo a VOLVO<sup>57</sup>, é aquela em que o veículo, através de seu sistema de força, dispõe para utilização em cada marcha, ao qual se associa um rendimento, resultado das perdas por atrito.

A fórmula matemática para se calcular esta força é fornecida pela SAAB SCANIA<sup>51</sup>:

$$Fr = (T \cdot Ic \cdot Id \cdot k) / Rd \text{ , em que}$$

$F_r$  = Força disponível na roda do veículo (Kgf);  
 $T$  = Torque-motor(Kgm);  
 $i_c$  = Relação da caixa de mudanças;  
 $i_d$  = Relação do eixo traseiro(diferencial);  
 $k$  = Rendimento(0,9).  
 $R_d$  = Raio dinâmico do pneumático, sob ação da carga do veículo e em movimento, expresso em metros.

O raio dinâmico do pneumático é o indicado como parâmetro de cálculo de desempenho de veículos, já que ele é o raio operacional e não o raio teórico ou o estático. A tabela 7 fornece valores de raios dinâmicos, em função das dimensões dos pneumáticos.

**TABELA 7- Valores de raio dinâmico em função do tipo de pneumático do veículo**

TIPO DE PNEUMÁTICO	RAIO DINÂMICO DOS PNEUMÁTICOS(m)			
	9,00x20"	10,00x20"	11,00x20"	11,00x22"
DIAGONAIS	0,490	0,508	0,521	0,547
RADIAIS	0,464	0,495	--	0,533

Na Tabela 7, o primeiro número se refere a largura nominal do pneu, em polegadas, com a pressão interna recomendada pelo fabricante e o segundo, ao diâmetro do aro do pneu,

que é, aproximadamente, igual ao do pneumático.

#### 4.3.4.4. Força de aderência

Força de aderência é aquela em que o veículo pode utilizar, decorrente do peso incidente sobre o(s) eixo(s) de tração e do coeficiente de atrito da superfície de rolamento da estrada florestal. Se existe uma força maior nas rodas, estas vencerão o atrito existente e pode então ocorrer a patinação. Por esta razão, a VOLVO<sup>57</sup> recomenda a seguinte técnica:

$$| F_{ad} = P \cdot Ca |, \text{ onde}$$

$F_{ad}$  = força de aderência (Kgf);

$P$  = peso incidente sobre o(s) eixo(s) tração(kg);

$Ca$  = coeficiente de atrito.

Quando o  $Fr$  é maior do que o  $F_{ad}$ , ocorre a patinação; então deve-se utilizar o valor de  $F_{ad}$  para o cálculo da capacidade de subida do veículo. Todavia, se o  $Fr$  for menor do que o  $F_{ad}$ , então use o valor de  $Fr$ .

De acordo com MACNALLY<sup>38</sup> e FAURE & GRATIA<sup>17</sup>, existem algumas leis que revolucionaram as antigas teorias do coeficiente de atrito e que se baseiam nos seguintes fatores:

- a) área de contato entre a superfície e o pneumático;
- b) peso bruto total nas rodas de tração;
- c) velocidade do veículo;
- d) condições climáticas.



Uma condição imperativa, segundo FAURE & GRATIA<sup>17</sup>, para reencontrar uma aderência elevada, é a eliminação da água da superfície da pista de rolamento, através da adequada escolha da escultura da banda de rodagem do pneu e do tipo de pavimento (rugosidade geométrica do revestimento, abaulamento, menor distância de escoamento das águas etc.).

A tabela 8 contém valores de coeficientes de atrito de superfícies de estrada, comuns no meio florestal.

**TABELA 8 - Valores de coeficiente de atrito estático em função do tipo de superfície da pista de rolamento da estrada florestal**

SUPERF. PISTA DE ROLAMENTO	COEFIC. ATRITO ESTÁTICO
Pavimento rígido/flexível	0,6 - 0,7
Revest. primário estabilizado	0,5 - 0,6
Sem revestimento (argiloso seco)	0,55
Sem revestimento (argiloso úmido)	0,45
Sem revestimento (arenoso úmido)	0,40
Sem revestimento (arenoso seco)	0,25

**FONTE: MACNALLY<sup>38</sup>**

#### 4.3.4.5. Capacidade de subida do veículo

A capacidade de subida de um veículo, expressa em percentagem, é função do peso bruto total (combinado), do torque do motor, da relação da caixa de mudanças e do eixo traseiro, do rendimento, do raio dinâmico dos pneus, do eixo de tração e da resistência ao rolamento. A fórmula matemática-

ca proposta pela VOLVO<sup>57</sup> é a seguinte:

$$Cs = \frac{[(Fr \text{ ou } Fad) - Rr] \cdot 100}{(PBT \text{ ou } PBTC)}, \text{ em que}$$

Cs = capacidade de subida máxima do veículo(%);

Fr = força disponível nas rodas do veículo(Kgf);

Fad = força de aderência(kg);

Rr = resistência ao rolamento(kg);

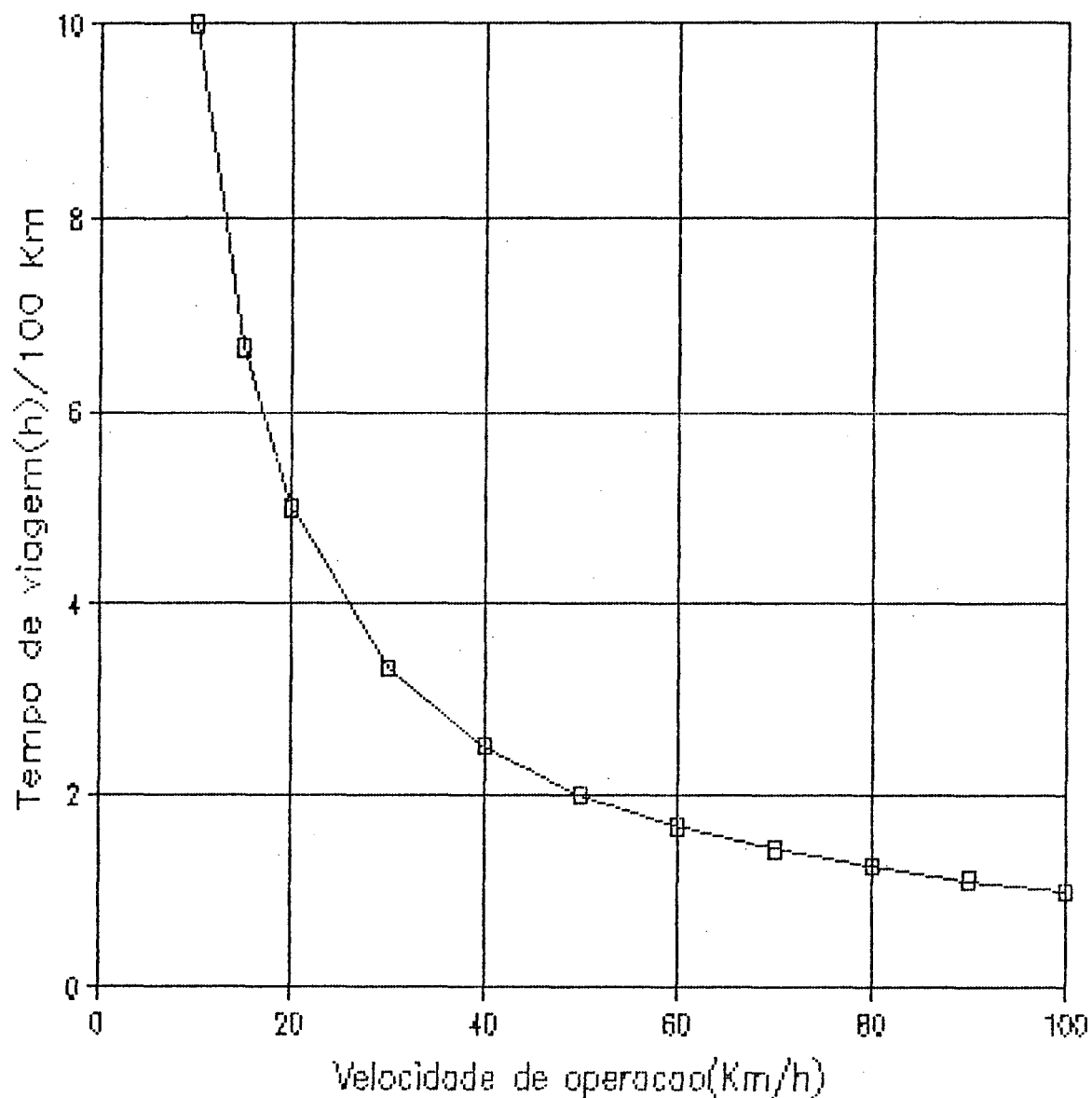
PBT ou PBTC = Peso bruto total(combinação) transportado.

#### 4.3.5. Eficiência do Transporte

A eficiência do transporte, em estradas florestais, depende basicamente das características técnicas da(s) rodovia(s), bem como da correta seleção do veículo. Para se solucionar esse problema, é necessário verificar a relação funcional entre greide e sua extensão, bem como o tempo necessário para vencer cada comprimento de rampa da estrada e o consumo de combustível. A eficiência do transporte é também influenciada pela carga transportada e pela velocidade desempenhada pelo veículo.

A eficiência do transporte, segundo a SAAB SCANIA<sup>51</sup>, é influenciada de maneiras diferentes e complexas, mas para se obter a eficiência máxima de transporte, são necessários veículos de grande tonelagem, transportando o máximo de carga legal, num greide de até 7%.

**FIGURA 6 - Curva de eficiência do transporte florestal rodoviário**  
**FONTE: IWAKAWA<sup>32</sup> & SAAB SCANIA<sup>51</sup>**



A Figura 6, ilustra a eficiência do transporte florestal quando a velocidade teórica do veículo é calculada através do raio dinâmico do pneu, rotação e relação de redução na caixa de mudanças e no eixo traseiro. A SAAB SCANIA<sup>51</sup>

fornece a fórmula matemática para se calcular a velocidade do veículo:

$$V = (0,377 \cdot R_d \cdot \text{RPM}) / (i_c \cdot i_d), \text{ em que}$$

V = velocidade do veículo(Km/h);

Rd = raio dinâmico do pneu(m);

RPM= número de rotações do motor por minuto;

ic = relação de redução na caixa de mudanças;

id = relação de redução no eixo traseiro.

#### 4.3.6. Pneumáticos

Os pneumáticos podem ser classificados de muitas formas, dependendo de sua finalidade. Com base nos objetivos deste trabalho, MACNALLY<sup>38</sup> sugere classificá-los da seguinte maneira:

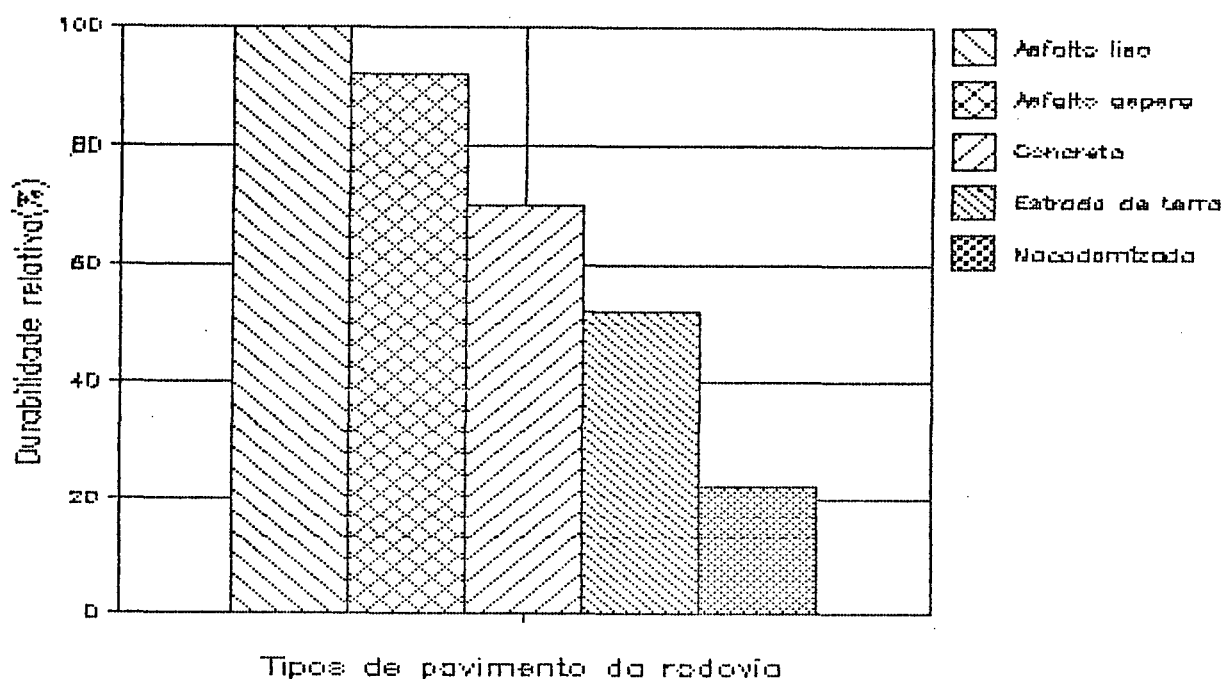
- a) pneus com ou sem câmara;
- b) pneus diagonais e radiais.

As principais vantagens que os pneumáticos sem câmara oferecem em relação aos com câmaras, segundo MACNALLY<sup>38</sup>, são as seguintes:

- a) operam a temperatura mais baixa;
- b) garantem maior segurança;
- c) podem reduzir em até 35% o tempo de demora;
- d) proporcionam maior estabilidade ao veículo.

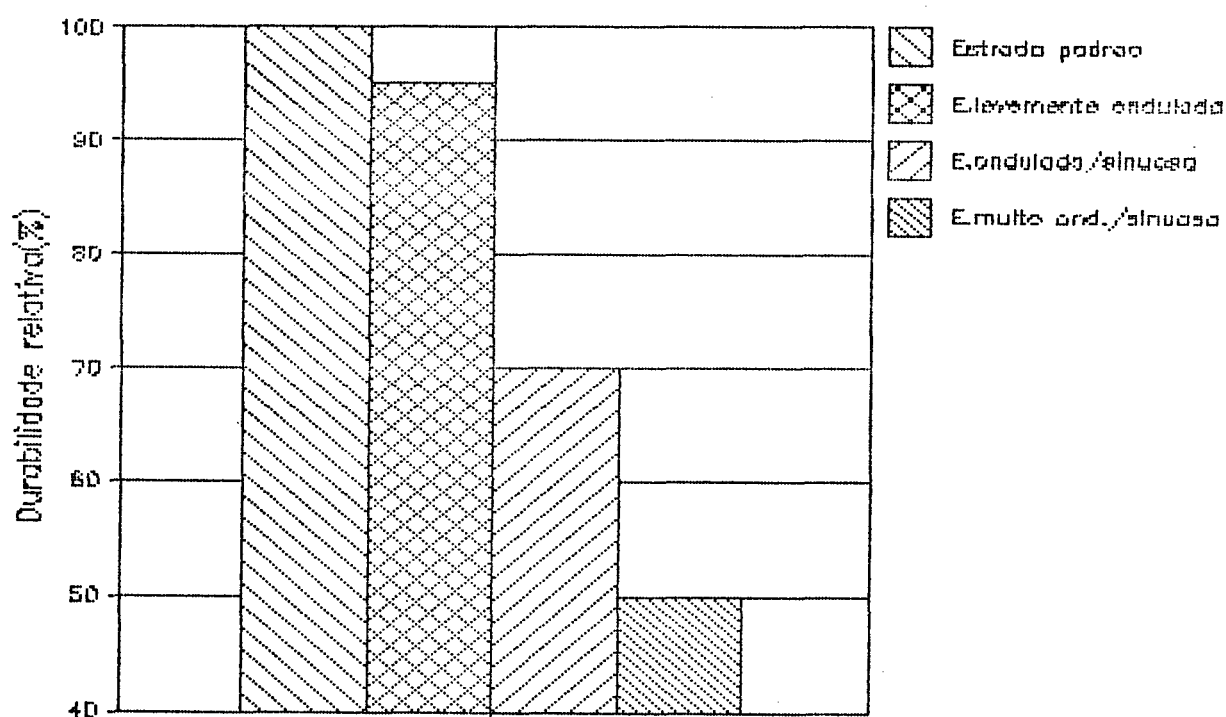
Os pneus de carcaça radial oferecem uma aderência longitudinal superior em até 20%, em igualdade de condições com os diagonais. Geralmente, são fabricados sem câmara, oferecendo menor resistência ao rolamento, além de oferecer uma economia de combustível de até 8%, se comparados com os pneumáticos diagonais. Todavia, MACNALLY<sup>38</sup> afirma que os pneus requerem uma manutenção mais rigorosa. Por exemplo, a pressão interna dos pneus radiais deve ser verificada diariamente. A figura 7 ilustra a influência do tipo de superfície da pista de rolamento de estradas florestais no desgaste dos pneumáticos dos veículos de transporte rodoviário.

**FIGURA 7 - Influência da superfície da pista de rolamento no desgaste dos pneumáticos**  
**FONTE: SAAB SCANIA<sup>48</sup>**



Pode-se observar na figura 8 a influência das ondulações da pista de rolamento no desgaste dos pneumáticos dos veículos de transporte florestal.

**FIGURA 8 - A influência das ondulações das estradas florestais no desgaste dos pneumáticos dos veículos de transporte**  
**FONTE: SAAB SCANIA<sup>48</sup>**



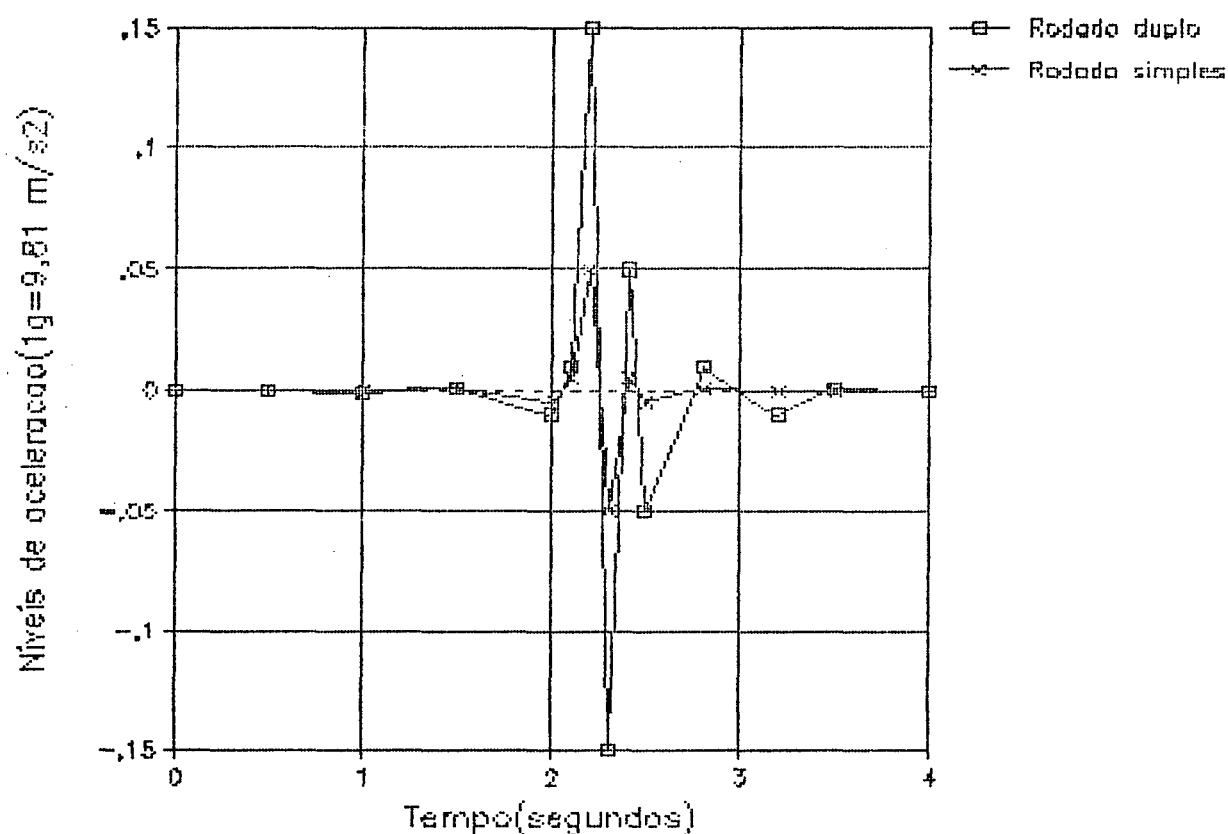
#### 4.3.7. Impacto Dinâmico dos Veículos na Estrutura das Estradas Florestais

Para cada tipo de subsolo, o cálculo da espessura e o tipo de material de pavimento requerido, para suportar um dado tráfego, deve considerar o impacto dinâmico do veículo.

Através da figura 9 pode-se verificar o impacto dinâmico dos pneus dianteiros (rodado simples) e traseiros (rodado duplo) de veículos de transporte em estradas florestais.

**FIGURA 9 - Impacto dinâmico de pneumáticos de veículos de transporte em estradas florestais**

**FONTE: EKSE<sup>12</sup>**



#### 4.4. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Em meados de 1970, de acordo com HACKL<sup>21</sup>, quando diversos países encontravam-se em colapso econômico, tornou-se

difícil determinar os retornos financeiros de qualquer investimento. Além disso, a viabilidade econômica de uma estrada florestal envolve um grande número de aspectos técnicos, não podendo ser discutida sem primeiro avaliar as estradas existentes e os projetos de estradas a serem construídas.

Os fatores essenciais da rede rodoviária florestal, recomendados por DIETZ<sup>11</sup>, são a qualidade e a intensidade da rede; a qualidade do planejamento e a sua construção; e a organização da utilização e a manutenção das estradas.

Para IWAKAWA<sup>31</sup>, os custos de manutenção de estradas florestais, normalmente utilizadas, são diretamente relacionados ao produto do volume transportado/distância/aceleração dos chassis do veículo.

De acordo com SMITH & TSÉ<sup>54</sup>, aumentar a velocidade do tráfego, através de melhorias na rede rodoviária florestal, é uma medida econômica necessária. Todavia, o desconhecimento da correlação entre os diversos parâmetros inerentes à estrada florestal e ao meio de transporte, bem como de suas influências e comportamentos na performance e produtividade dos veículos de transporte, inviabiliza qualquer tentativa de otimização do sistema de transporte florestal, e de minimização de seus custos.



## 5 - METODOLOGIA

### 5.1. SISTEMA DE AMOSTRAGEM

Após uma avaliação das características dos diversos sistemas de amostragem, decidiu-se empregar a "amostragem estratificada", visto que, para os objetivos deste trabalho, ela avalia melhor e mais eficientemente as variáveis em questão.

O sistema de amostragem estratificada, fornece estimadores mais eficientes, uma vez que as variáveis são mais homogêneas dentro do estrato do que entre os estratos. Além disso, facilita a coleta e o processamento de dados, o controle e utilização destas informações. Permite, ainda, um melhor planejamento, administração e supervisão dos trabalhos de campo.

A filosofia que rege a construção de estradas florestais se baseia, principalmente, na economicidade de seu projeto. Assim, o relevo tem primordial influência no comportamento das principais variáveis de estrada florestal, tais como o raio de curva horizontal e vertical, greide, comprimento de rampa, largura da pista de rolamento etc.

Utilizou-se o relevo como critério de estratificação, procurando-se estabelecer trechos experimentais (estratos) em relevo plano, suave-ondulado e ondulado. Dessa forma, é possível avaliar, tecnicamente, a variação natural das variáveis da estrada florestal.

Se fosse utilizado o sistema de seleção aleatório, seria necessária a realização do levantamento topográfico global das estradas, que comportariam cada estrato. Tal levantamento visaria à confecção de projetos geométricos, anteriormente à amostragem, o que demandaria tempo e recursos excessivos, pois somente os segmentos eleitos para a amostragem seriam efetivamente utilizados para a coleta de dados.

Com a utilização da amostragem estratificada, foram necessários levantamentos topográficos e projetos geométricos apenas nas porções dos trechos experimentais da estrada(estratos), previamente determinados. Como os estratos eram trechos de estradas homogêneos, decidiu-se efetuar a coleta de dados em apenas subtrechos(porções), representativos do estrato.

Após um estudo prévio das situações inerentes às estradas florestais, visando estabelecer o tamanho da unidade de amostra, verificou-se que o tamanho ideal era de 1.000 metros de comprimento, o que possibilitaria encontrar naturalmente as características técnicas da estrada florestal, em cada um dos relevos considerados na estratificação.

A coleta de dados foi efetuada, sequencialmente, em cada unidade de amostra, por estrato, envolvendo-se cada um dos tipos de veículos florestais.

## 5.2. SELEÇÃO DOS LOCAIS DE EXPERIMENTAÇÃO

O critério de seleção, dos locais da experimentação, adotado passou primeiro pela limitação dos recursos disponí-

veis, pela escassez de informações, pela disponibilidade de transporte de madeira, nos trechos selecionados, bem como pelo sistema de amostragem adotado. O número de observações em cada trecho experimental foi estabelecido através de um estudo-piloto, realizado previamente, e considerando-se a variação do tempo de viagem carregada, em cada uma das situações de relevo.

Estabeleceram-se diversas unidades de amostras para cada tipo de relevo e meio de transporte, de modo que se garantisse a participação de todas as variáveis relevantes de estrada e dos veículos de transporte, conforme descrito a seguir:

a) RODOTREM: seis unidades de amostra em relevo plano e seis em relevo suave-ondulado;

b) TREMINHÃO: quatro unidades de amostras em relevo plano, cinco em relevo suave-ondulado e quatro em relevo ondulado;

c) CONJUGADO(Biminhão): Idêntico ao anterior;

d) CAMINHÃO: quatro unidades de amostras em relevo plano, quatro em relevo suave-ondulado e outros quatro em relevo ondulado.

O número de unidades de amostras, para cada tipo de composição veicular, não foi o mesmo em virtude da variação das características técnicas dos veículos e do fluxo de tráfego encontrado nas áreas de experimentação.

### 5.3. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE EXPERIMENTAÇÃO

As informações técnicas da área de experimentação são fundamentais ao sucesso de qualquer pesquisa. Por isso, procurou-se averiguar as principais informações, para que se pudesse levantá-las por ocasião da coleta de dados.

#### 5.3.1. Informações Climáticas

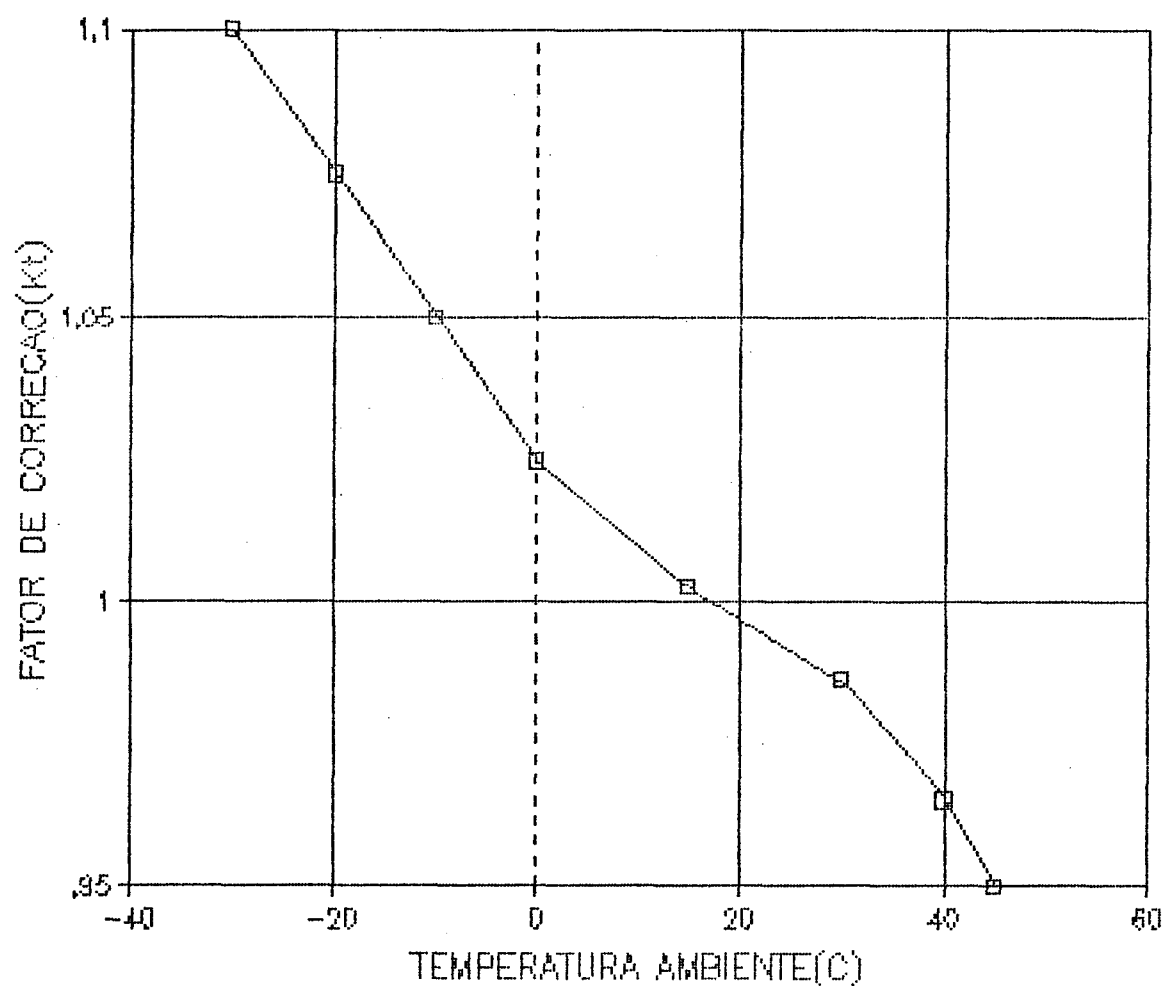
As principais informações climáticas para esta pesquisa são a temperatura média anual e a pluviosidade local, uma vez que afetam o desempenho dos veículos de transporte florestal, conforme descrito a seguir:

##### 5.3.1.1. Temperatura

A temperatura ambiente influencia a eficiência dos motores de combustão interna. Nos motores turboalimentados, com resfriamento de ar de admissão, por "intercooler" (inter-resfriador), o ar penetra na câmara de combustão a uma temperatura controlada próxima de 50°C, e a temperatura ambiente tem pouca importância para o desempenho do motor. Por outro lado, os motores turboalimentados, sem "intercooler", são sensíveis à influência da temperatura ambiente, uma vez que o ar admitido nos cilindros sofre um aumento de temperatura ao passar pelo turbocompressor. Reduzir esta temperatura é a solução para melhorar a performance do motor. Em virtude da influência da temperatura ambiente nos motores de combustão interna, especialmente nos aspirados, foram feitas correções da potência do motor, empregando-se o fator "Kt", conforme ilus-

trado pela figura 10.

**FIGURA 10 - Coeficiente de correção da potência do motor em função da temperatura local**  
**FONTE: FAO<sup>16</sup>**



Por ocasião do cálculo da potência efetiva do motor de cada veículo estudado, realizou-se a devida correção, com base na temperatura média da época do experimento, empregando-se o respectivo fator "Kt".

#### 5.3.1.2. Pluviosidade

As informações pluviométricas geralmente são obtidas por consultas aos postos pluviométricos ou seção de hidrologia do Ministério da Agricultura, ou mesmo na própria empresa florestal. O importante é obter informações sobre a intensidade, o regime pluviométrico, se possível, e as médias mensais, de diversos anos, para a região em questão.

A importância dessas informações se deve ao fato de haver relação direta entre elas e a condição da superfície da pista de rolamento da estrada florestal, sobretudo naquelas sem revestimento. É bem verdade que nem sempre pode-se ter veículos específicos para situações adversas e outros para as favoráveis, em se tratando das condições climáticas. Existem, neste caso, dois tipos básicos de rodovias: as permanentes, que permitem o tráfego indiferentemente das condições climáticas, e as temporárias, que permitem o tráfego somente na época seca.

#### 5.3.2. Informações Topográficas

As informações topográficas foram usadas para se obter a altitude e o tipo de relevo, essenciais ao estabelecimento da potência efetiva do motor e ao delineamento estatístico.

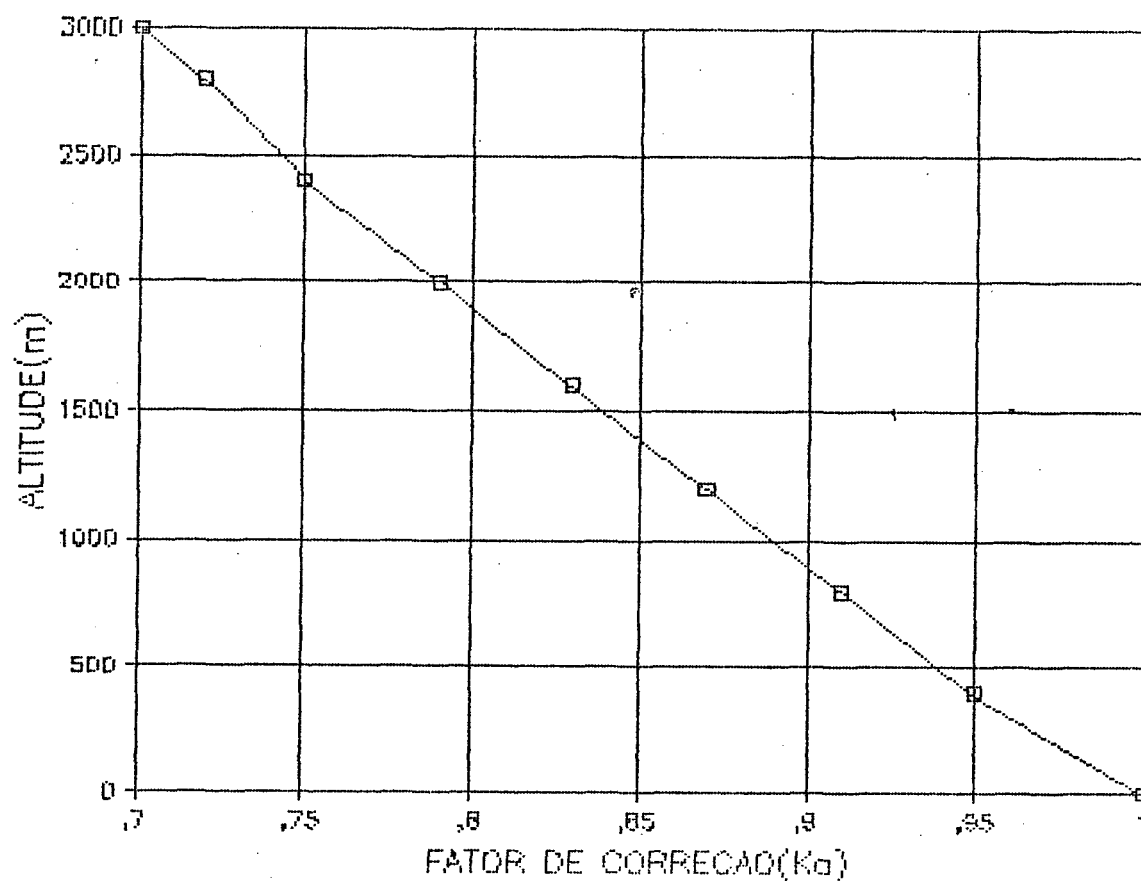
##### 5.3.2.1. Altitude

A altitude influencia a performance dos motores de combustão interna, uma vez que a atmosfera se torna menos

densa com a elevação da altitude. Assim, com a diminuição da quantidade de oxigênio, por unidade de volume de ar, que é injetado no cilindro do motor, ocasiona-se uma mistura ar/combustível mais pobre, reduzindo-se sensivelmente a potência do motor.

Para os motores aspirados, ocorre uma perda de potência na ordem de 1% para cada 100 metros de elevação de altitude, a partir dos mil metros, em relação ao nível do mar.

**FIGURA 11 - Coeficiente de correção da potência do motor em função da altitude local**  
**FONTE: FAO<sup>16</sup>**



Através da figura 11, pode-se obter o coeficiente de correção da potência nominal do motor, em função da altitude local, visando ao cálculo da potência efetiva do motor. No caso dos motores turboalimentados, esta perda de potência praticamente não ocorre, pois à medida que o ar vai se tornando rarefeito, em virtude da elevação da altitude, maior será a rotação da turbina (pode chegar a 90.000 rpm), admitindo-se a mesma quantidade de oxigênio.

Estabeleceu-se a altitude média regional em cada experimento, para se realizar, quando necessário, as devidas correções da potência do motor, por ocasião do cálculo da potência efetiva.

#### 5.3.2.2. Relevo

O relevo, para o traçado geométrico das estradas florestais, é um dos principais fatores determinantes do alinhamento vertical e horizontal e, de certo modo, da largura e superfície da pista de rolamento. Portanto, teoricamente, existirá uma relação estreita entre o relevo e as futuras classes essenciais do SIBRACEF.

#### 5.3.3. Informações Geológicas e Pedológicas

Descrever as condições do solo para as estradas florestais é fundamental ao estabelecimento de informações geológicas e pedológicas. Geralmente, têm-se dois tipos básicos de superfície da pista de rolamento de estradas florestais:



a) revestimento primário(cascalho, salbro, mistura sílico-argilosa etc);

b) sem revestimento primário(solo natural, isto é, apenas retirada a camada de humus).

Os materiais naturais da superfície da pista de rolamento ou os de empréstimos utilizados em seu revestimento primário são, geralmente, encontrados no próprio trecho da estrada. A escassez ou abundância desses materiais varia de região para região e depende quase que exclusivamente das características geológicas e pedológicas locais. O procedimento ideal, seria realizar um estudo da geologia de cada região e classificá-la geologicamente, o que nem sempre é possível no setor florestal.

Os tipos de ocorrências geológicas das regiões onde se implantaram os experimentos são:

- . Granito;;
- . Gnaisse;
- . Calcáreo;
- . Arenito;
- . Basalto;
- . Diabásio;
- . Diorito.

O granito é o principal elemento de formação da crosta terrestre, e sua decomposição resulta essencialmente em feldspato, mica e quartzo. Os dois primeiros são de fácil intemperismo físico e químico, mas o terceiro elemento, o

quartzo, é bastante duro e inatacável pelos agentes comuns, resistindo às intempéries, formando as areias. Esses grãos de areia, por sua vez, são modelados pela ação dos ventos e da água, originando as areias grossa, média e fina.

Na verdade, as informações mais importantes para esta pesquisa residem na mecânica dos solos, importando-se, portanto, a textura e suas características físico-mecânicas.

#### 5.4. LEVANTAMENTOS E MEDIÇÕES DE CAMPO

Os levantamentos e medições de campo, dos parâmetros de estrada e do meio de transporte florestal, foram realizados separadamente e, em alguns casos, concomitantemente, porém sem comprometer a sua qualidade.

##### 5.4.1. Estrada Florestal

Levantamentos topográficos e geotécnicos são fundamentais para a elaboração de projetos geométricos de estradas e classificação do solo do subleito e da superfície da pista de rolamento, respectivamente.

##### 5.4.1.1. Levantamento topográfico

Realizou-se um levantamento plani-altimétrico dos trechos de estrada florestal, os quais comportariam as unidades de amostras.

Dividiu-se este trabalho em levantamento, nivelamento e contra-nivelamento da poligonal e levantamento das seções

transversais. Todas essas operações são fundamentais à elaboração do projeto geométrico. Vale lembrar que atualmente raras são as empresas florestais que elaboram projeto geométrico de estradas, por isto foi necessário um completo levantamento de algumas delas.

#### 5.4.1.2. Projeto geométrico

Utilizando-se as informações dos levantamentos topográficos, foram calculados os elementos das curvas de concordância horizontal e vertical, largura, "offsets" etc., visando à confecção das plantas geométricas. Através dessas plantas, foram compiladas todas as informações necessárias ao estabelecimento dos índices de alinhamento vertical e horizontal, de largura da estrada florestal. Essas informações são fundamentais para a obtenção das variáveis relevantes inerentes à estrada florestal.

#### 5.4.1.3. Estudo geotécnicodo leito e subleito

Realizou-se um levantamento geotécnico do leito e subleito das estradas florestais envolvidas na experimentação, visando subsidiar a análise do comportamento dos elementos do solo, no que se refere diretamente à superfície da pista de rolamento e subleito da estrada florestal.

Todo material coletado foi encaminhado a um laboratório de mecânica dos solos, objetivando-se a realização dos ensaios de caracterização e de compactação, bem como a classificação dos diversos solos segundo o USCS(Unified Soil

Classification System) e o HRB(Highway Research Boarding), classificações bastantes comuns na literatura especializada.

Na verdade, todas essas informações apenas subsidiaram a correta seleção do tipo de pavimento da pista de rolamento da estrada florestal e a sua capacidade de suporte. Essas informações são vitais ao estabelecimento dos coeficientes de rolamento e aderência, que, por sua vez, determinam o índice de superfície da pista de rolamento da estrada florestal.

#### 5.4.2. Meio de Transporte Florestal

Para verificar o comportamento dos veículos de transporte florestal, realizou-se um inventário dos mesmos visando a sua classificação, bem como um estudo de tráfego e das características técnicas de cada composição veicular.

##### 5.4.2.1. Inventário dos veículos

Realizou-se um levantamento das características técnicas dos veículos de transporte florestal, por ocasião da coleta de dados, de forma a se estabelecerem o tipo e a classe de veículos transitando em cada unidade amostral.

##### 5.4.2.2. Classificação dos veículos de transporte florestal

Adotou-se, neste estudo, a classificação de veículos de transporte de madeira mais comum entre as empresas florestais e as montadoras de veículos, qual seja:

- a) LEVES.....com tração 4x2 ou 4x4;
- b) MEDIOS.....com tração 6x2 ou 6x4;
- c) SEMI-PESADOS.....os articulados e os conjugados;
- d) PESADOS..... os rodotrens e os treminhões.

#### 5.4.2.3. Estudo do tráfego

Este estudo foi fundamental ao estabelecimento da densidade de tráfego (número de veículos trafegando diariamente na estrada), responsável pela seleção de diversas características técnicas da estrada florestal, tais como a largura e o tipo de superfície da pista de rolamento.

O estudo de tráfego foi realizado "in loco", considerando-se todos os veículos de transporte de madeira que trafegavam nas estradas florestais nos trechos experimentais. O tipo e a classe dos veículos foram as principais características observadas.

O trabalho de coleta de dados, para o estudo de tráfego, foi realizado por pessoal qualificado, empregando-se formulários previamente desenvolvidos visando à simplificação e à redução dos erros amostrais.

#### 5.4.2.4. Características técnicas

Existem diversas características técnicas em um veículo de transporte que devem ser estudadas para se obter as variáveis relevantes da pesquisa.

##### 5.4.2.4.1. Freio motor

O freio motor consiste de uma válvula posicionada na tubulação do sistema de escapamento, após o turboalimentador (quando for o caso). Quando acionada, estrangula a saída

dos gases, provocando contrapressão nos pistões do motor, no tempo de escapamento. O efeito de frenagem é o correspondente a uma redução na caixa de câmbio. Esse dispositivo é muito útil em longos declives, pois se poupa drasticamente o sistema de freios e, em menor escala, combustível.

É comum uma redução de consumo de combustível em determinadas situações de greide acentuado e longos declives.

#### 5.4.2.4.2. Motor de combustão interna

Os motores de combustão interna dos veículos de transporte rodoviários são, praticamente, todos movidos a óleo diesel. Nesta pesquisa, por questões operacionais, trabalhou-se apenas com os veículos que representam a maior parcela da frota empregada no setor florestal brasileiro.

Existem três tipos básicos de motores diesel:

##### a) Motores de aspiração natural

Esses motores são os mais comuns, em virtude de acoplarem a maioria dos veículos leves e médios de transporte rodoviário. O ar aspirado para formar a mistura combustível (ar/óleo diesel) entra na câmara de combustão naturalmente aspirado pelo pistão. A altitude e a temperatura exercem uma influência bastante significativa no desempenho desses motores. Na pesquisa, foram encontrados veículos com motores aspirados do tipo OM 352 da Mercedes-Benz, que possuem um consumo específico de 162 g/cv.h, a 1600 rpm.

#### b) Motores turboalimentados

A turboalimentação consiste numa modificação do sistema de alimentação do motor através da instalação de um turbocompressor, que proporciona admissão nos cilindros de uma quantidade de ar bem superior do que a normalmente admitida durante a aspiração natural. O turbocompressor é acionado pelos gases de escape. Com o aumento do volume de ar admitido nos cilindros, pode-se aproveitar melhor o combustível, com um considerável aumento de potência e torque do motor. O resultado disto é o aumento do rendimento energético do motor.

Na pesquisa foram encontrados diversos veículos com turboalimentador adaptado, os quais não haviam recebido todas as modificações técnicas necessárias no motor. Assim, esta adaptação força diversos componentes, provocando o desgaste prematuro das peças e freqüentes quebras, levando à redução da vida útil do motor.

Os veículos, que possuíam motor turboalimentado, encontrados durante a realização da pesquisa foram:

- . MERCEDES-BENZ OM 352-A - consumo específico de 162 g/cv.h a 1800 rpm;
- . SCANIA DS 11 15 - consumo específico de 150 g/cv.h a 1500 rpm.

#### c) Motores turboalimentados com "intercooler"

Nos motores turboalimentados, o ar admitido nos cilindros sofre um aumento considerável de temperatura ao passar pelo compressor. Reduzir essa temperatura é uma forma de

melhorar ainda mais o desempenho do motor. Isso pode ser obtido ao fazer com que o ar da admissão, ao sair do turboalimentador, passe num trocador de calor, sofrendo um resfriamento antes de ser introduzido sob pressão nas câmaras de combustão, daí a denominação "intercooler"(inter-resfriador).

Na verdade, a densidade do ar de admissão aumenta ao passar pelo "intercooler", pois ocorre uma redução brusca de temperatura de 150 para 50°C. Assim, torna-se viável comprimir uma massa de ar muito maior para formação da mistura combustível.

Com mais moléculas de oxigênio disponível, pode-se injetar mais combustível, obtendo-se maior eficiência da combustão, ou seja, aumenta em pelo menos 10% a potência do motor.

Esses motores praticamente não sofrem a influência negativa da altitude e da temperatura ambiente.

Na pesquisa foram encontrados veículos com um dos dois tipos de motores turboalimentados com "intercooler":

- . VOLVO TD 101 F - consumo específico de combustível igual a 146 g/cv.h a 1300 rpm
- . SCANIA DSC 11 01 - consumo específico de combustível igual a 145 g/cv.h a 1500 rpm.

As curvas de eficiência dos motores de combustão interna (curvas de torque/potência) são fundamentais ao estabelecimento do seu desempenho. Geralmente, estima-se a potência efetiva de um motor através de sua curva de eficiência, na



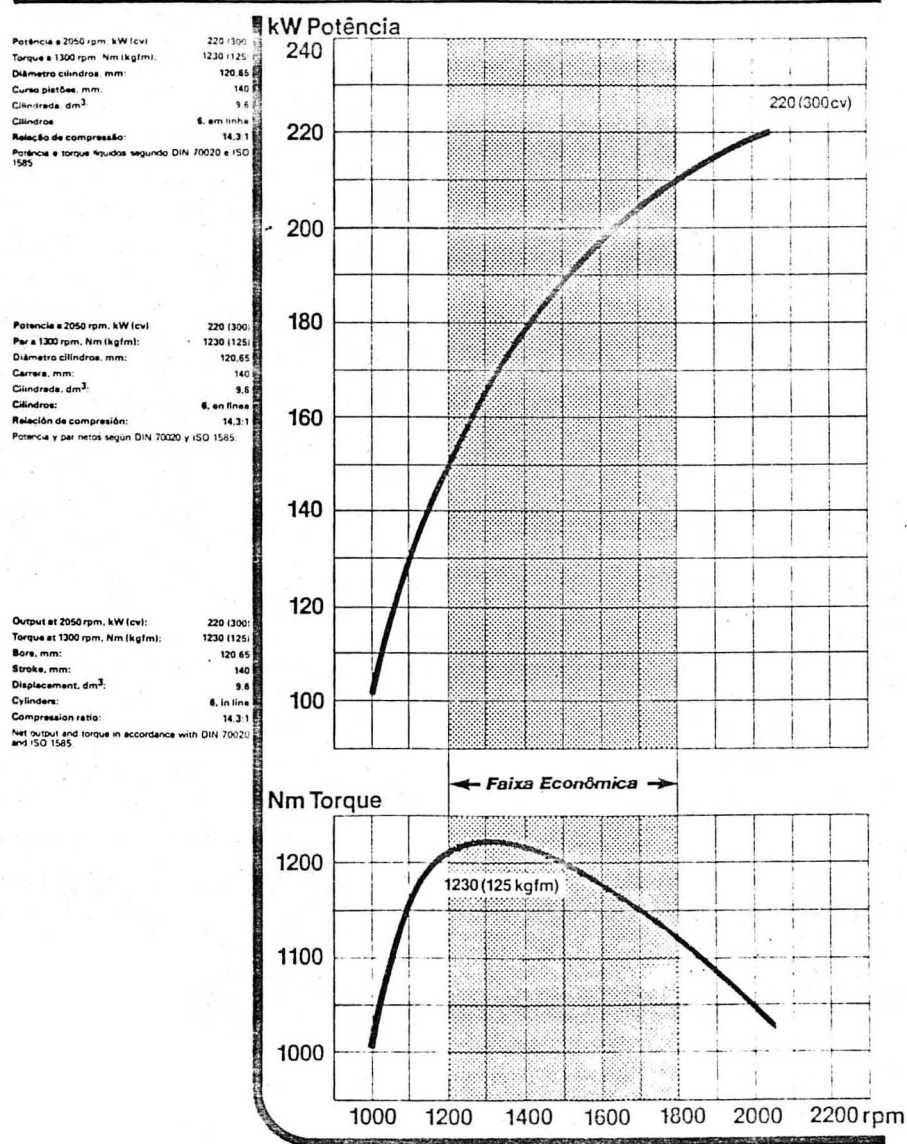
faixa econômica de rotações. A figura 12 exemplifica o comportamento das curvas de eficiência, através do motor Volvo TD 101 F, turboalimentado, com "intercooler".

**FIGURA 12 - Curvas de eficiência do motor VOLVO TD 101F, turboalimentado c/ "intercooler"**

**VOLVO**

**Performance**

**TD 101 F**



Com a determinação das características técnicas de cada motor dos veículos de transporte florestal, foi possível chegar à potência efetiva e ao consumo específico do mesmo, informações indispensáveis ao uso adequado do SIBRACEF.

d) Estimativa da potência efetiva do motor

A potência efetiva do motor de combustão interna é estimada em função da curva de eficiência do motor, torque máximo, temperatura e altitude local. A potência efetiva dos motores turboalimentados é aquela da curva de eficiência, no ponto de torque máximo. Todavia, para os motores aspirados, precisa-se ainda corrigi-la em função da temperatura e altitude local, conforme indicado nas figuras 10 e 11.

5.4.2.4.3. Número e tipo de eixos de veículos florestais

Excluindo-se o eixo dianteiro do veículo de transporte, têm-se basicamente dois tipos de eixos de tração: os Simples e os Tandem. Os eixos traseiros Simples podem ser encontrados de forma isolada ou acoplados de eixos sem tração(ex.: 4x2 e 6x2). Esse tipo de eixo pode também ser encontrado na parte dianteira do veículo(ex.: 4x4). Os eixos traseiros em Tandem trabalham conjugados e sempre aos pares(ex.: 6x4). O número total de eixos é função do tipo de composição veicular e das dimensões da carga a ser transportada.

Nesta pesquisa, foram arrolados o número, o tipo e a posição dos eixos traseiros de cada composição veicular estudada visando a sua classificação.

#### 5.4.2.4.4. Diferencial

Existe uma relação de redução total referente ao padrão de cada veículo. Por exemplo, a relação padrão do veículo Scania T 112 H, com pneumáticos 11.00x22", é de 4,78:1, tendo como opcional a relação 5,88:1. No primeiro caso, que é a relação padrão, a velocidade é sempre maior para a mesma relação de redução da caixa de mudanças.

#### 5.4.2.5. PBT ou PBTC dos veículos de transporte

Todos os veículos utilizados na pesquisa foram pesados, carregados e esvaziados, de sorte a se manter um controle rigoroso da carga bruta transportada por veículo e por viagem.

#### 5.4.2.6. Combustível

O diesel é, atualmente, o combustível básico dos veículos de transporte florestal rodoviário.

No Brasil, como o petróleo é proveniente de diversas fontes, pode apresentar características físico-químicas levemente distintas, dependendo da região. A preocupação maior neste trabalho é com relação ao peso específico do diesel, fundamental ao cálculo do rendimento energético. Assim, utilizou-se o valor médio de peso específico igual a 0,8275 Kg/l, fornecido pela Petrobrás.

Na verdade, como a variação do peso específico do diesel brasileiro e sua participação relativa são baixas, elas participam muito pouco do resultado final do cálculo do

rendimento energético.

#### 5.4.3. Coleta do Tempo de Viagem

O método utilizado para a coleta do tempo de viagem foi a Análise, por possibilitar a verificação da situação atual do sistema de transporte florestal.

A execução da coleta de dados exigiu muitos cuidados, conforme descritos a seguir:

##### 5.4.3.1. Pontos de leitura

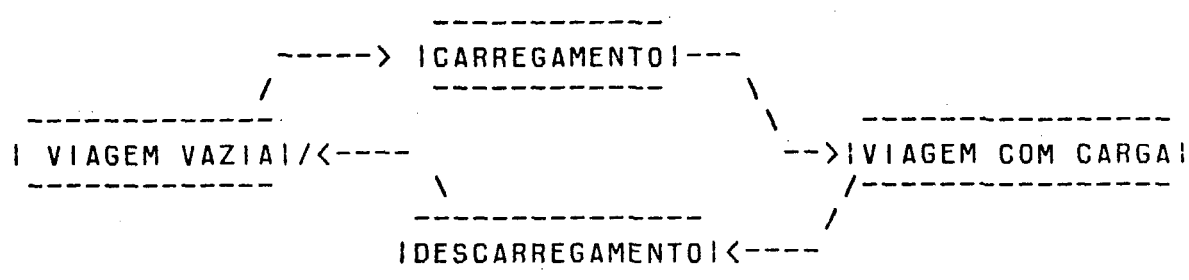
Os pontos de leitura ou de medição foram estabelecidos de forma precisa e clara, visando reduzir drasticamente o aparecimento de erros de amostragem.

Na pesquisa, as unidades amostrais eram sequenciais, dentro de cada trecho experimental, com comprimento unitário de mil metros. Os pontos de medição eram as estacas de marcação de quilometragem das estradas, mas nos casos onde inexistiam tais marcações, colocou-se estaca de madeira de 0,10 x 0,03 x 1,50 metros. Dessa forma, o final do primeiro trecho experimental, por exemplo, era o início do segundo, e assim sucessivamente.

##### 5.4.3.2. Ciclos

Geralmente, as operações na área de exploração e transporte florestal ocorrem ciclicamente. No transporte florestal, por exemplo, o decurso de trabalho acontece do modo descrito na figura 13.

FIGURA 13 - Ciclo do transporte florestal



Como a finalidade deste trabalho é específica para o estabelecimento do SIBRACEF, não foram coletadas os tempos de CARREGAMENTO e DESCARREGAMENTO que não afetam diretamente o rendimento energético dos meios de transporte.

#### 5.4.3.3. Tipos de dados e sua medição

Existem diversos métodos de medição de tempo, cada um deles com suas vantagens, desvantagens e aplicabilidade específica. Nesta pesquisa, optou-se pelo Método de Tempo Individual (o cronômetro é detido em cada ponto de leitura), uma vez que não se tratava de ciclos de trabalho.

A utilização do Método de Tempo Individual exigiu um conjunto de quatro cronômetros sofisticados, montados numa prancheta múltipla. As anotações dos tempos foram realizadas no instante de leitura do cronômetro.

#### 5.4.3.4. Grandezas relativas

Toda medição tem uma magnitude em que se expressam os resultados do trabalho. Por exemplo, a carga transportada pelos veículos foi expressa em toneladas, o consumo de combustível em l/Km e assim por diante.

Para se evitar a paralisação da coleta de dados, o cronometrista realizava previamente todas as anotações possíveis sobre o veículo, tais como o número de eixos, tipos de pneumáticos, a composição veicular, a marca do veículo etc. Todavia, as informações das pesagens, por questões operacionais, eram tomadas posteriormente, ocasião em que se completava as anotações dos formulários.

#### 5.4.3.5. Fatores de Influência

Geralmente, existem fatores influentes no rendimento técnico de qualquer meio produtivo, por isto são insuficientes as informações de tempos e dados quantitativos de relação. Em virtude disto, organizou-se o trabalho de tal forma a se relacionarem todos os fatores de influência.

Na verdade, muitas destas informações, por serem qualitativas, chegam também a variar em cada viagem.

##### a) Meio de produção

- . Modelo
- . Potência
- . Composição veicular
- . Acessórios

- . Idade
- . Consumo específico do motor
- . Tipos de pneumáticos
- . etc

**b) Objeto de trabalho**

- . Toras curtas de pinus e eucalipto
- . Toras longas de pinus

**c) Condições locais de trabalho**

- . Estrada principal, secundária etc
- . Época de chuvas e de seca
- . Altitude máxima de 1.000 metros
- . Temperatura média mensal anotada, etc.

**d) Mão-de-obra(motorista)**

- . Sexo
- . Idade
- . Escolaridade
- . Aptidão etc

**5.4.3.6. Recursos disponíveis para a coleta de dados**

Objetivando realizar uma eficiente coleta de dados, empregou-se um sistema de cronômetros múltiplos, montados numa prancheta com alavanca de acionamento, onde as medições foram realizadas por três cronômetros que operavam em série, e um quarto cronômetro para medição do tempo de controle, pa-

ra futura avaliação.

Desenvolvidos especificamente para esta pesquisa, utilizaram-se três tipos básicos de formulários:

a) formulário para tempos cronometrados;

b) formulário para dados gerais;

c) formulário para o estabelecimento das grandezas relativas.

A prancheta é um recurso muito importante na tomada de tempos, pois ela deixa as mãos do cronometrista livre para a realização das anotações e atendimento aos cronômetros. Nesta pesquisa, utilizou-se uma prancheta metálica para um conjunto de quatro cronômetros, com dispositivo de fixação de formulários e de acionamento dos cronômetros.

#### 5.4.3.7. Controle de tempo

Quaisquer dos métodos de medição de tempo requerem que as anotações sejam controláveis. Para tal, foram definidas seções de controle, nas quais anotava-se o tempo total gasto em cada atividade.

A somatória dos tempos de viagem carregada ou descarregada medidos nos trechos experimentais foi comparada, posteriormente, com o tempo de controle. Quando houve uma diferença superior a mais ou a menos 3%, eliminou-se sistematicamente essas anotações, visando reduzir o erro de amostragem.



#### 5.4.3.8. Avaliação dos dados

Após organizá-los numa planilha manual, avaliaram-se os dados coletados no campo, de tal forma a viabilizar o cálculo das grandezas relativas. O cálculo das grandezas relativas e a complementação da planilha foi seguida de uma avaliação analítica, afim de se eliminar ou corrigir valores de variáveis.

Após uma rigorosa avaliação das planilhas manuais, estas foram transformadas em diversos bancos de dados informatizados, visando ao processamento e às análises estatísticas.

### 5.5. DESENVOLVIMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS ÍNDICES GEOMÉTRICOS DE ESTRADA FLORESTAL

Através de um estudo aprofundado da literatura especializada, pode-se estabelecer "a priori", os índices geométricos de estrada florestal. Realizaram-se testes de campo e simulações visando comprovar ou não estas informações.

Os principais índices geométricos são: índice de Alinhamento Horizontal, índice de Alinhamento Vertical e índice de Largura da Pista de Rolamento da Estrada Florestal. No primeiro caso, trata-se de uma relação do número de curvas de concordância horizontal, seus respectivos raios e comprimento do trecho de estrada florestal que a comporta. No segundo caso, relacionaram-se o greide e o comprimento de rampa e do trecho de estrada. No último caso, estabeleceu-se uma relação da largura da pista de rolamento com o número de pistas.

### 5.5.1. Índice de Alinhamento Horizontal

O Alinhamento Horizontal de uma estrada florestal, depende de diversos parâmetros, tais como o relevo, a topografia do terreno, o tipo de solo, a velocidade de projeto, o tipo de composição veicular etc.

Considerando-se que BYRNE et alii<sup>2</sup> estabeleceu, com sucesso, um índice de alinhamento horizontal capaz de representar tecnicamente a situação, optou-se por uma modernização e adequação deste índice para a realidade nacional.

O índice de Alinhamento Horizontal, representado pela sigla AH, é estabelecido pela relação entre o raio médio de curvas de concordância horizontal e a média ponderada do número de curvas por quilômetro. Todavia, analisando-se criticamente as pesquisas de BYRNE et alii<sup>2</sup> e <sup>3</sup>, verificou-se que curvas horizontais com raio superior a 1.000 metros deviam ser desconsiderada da computação da média de raio, uma vez que não influenciam significativamente a redução de velocidade. Isto é, praticamente não ocorre desaceleração e aceleração do veículo nestas curvas, mas se incluídas no cálculo original, alteram o resultado do índice de alinhamento horizontal.

O estabelecimento do índice de Alinhamento Horizontal é descrito a seguir:

$$AH = r/NC \quad , \text{ em que}$$

$r$  = média ponderada do raio de curva de concordância horizontal(metros).

NC = número total de curvas de concordância horizontal dividido pela distância total em quilômetros.

$$r = [(a.d1) + (b.d2) + \dots + (n.dm)] / (a + b + \dots + n),$$

sendo:

a, b, ... n = número de curvas de concordância horizontal de mesmo raio "m";

d = raio "m" da(s) curva(s) de concordância horizontal(m);

Através do projeto geométrico da estrada florestal, tomou-se o número de curva de concordância horizontal, com seus respectivos raios, para cada trecho experimental. Quando um trecho experimental terminava no desenvolvimento da curva horizontal, o critério adotado foi incluir a curva na média aritmética, uma vez que esta mantém a mesma influência de aceleração e desaceleração do veículo.

#### 5.5.2. Índice de Alinhamento Vertical

O estabelecimento do Índice de Alinhamento Vertical, simbolizado pela sigla AV, foi uma das tarefas mais complexas da metodologia.

De acordo com CAMPOS<sup>5</sup>, os pontos mais importantes da geometria de uma estrada, que afetam o desempenho dos veículos, são:

- a) comprimento de rampa;
- b) greide.

A sucessão de curvas de concordância vertical, sem curvas de concordância horizontal ou curvas de concordância vertical convexas de pequeno raio, seguidas de curvas de concordância horizontal fechadas, tornam o traçado geométrico sem estética e perigoso.

Na verdade, como a pesquisa se baseou na velocidade de operação, procurou-se enfocar as características geométricas mais importantes para o estabelecimento do índice de alinhamento vertical, quais sejam, o comprimento de rampa, o raio de curva das interseções e o comprimento de pistas de aceleração e desaceleração e greide. Após um aprofundado estudo e testes práticos, desenvolveu-se definitivamente a seguinte técnica:

#### Estabelecimento do(s) greide(s) ponderado(s)

$$| G_a = [(g_a \cdot C_a) / C_a] |$$

$$| G_d = n[(g_d \cdot C_d) / C_a] | , \text{ em que}$$

$G_a$  = greide ponderado em aclive para o veículo carregado, expresso em percentagem;

$G_d$  = greide ponderado em declive para o veículo carregado, expresso em percentagem;

$g_a$  = greide em aclive(%);

$g_d$  = greide em declive(%);

$C_a$  = comprimento de rampa em aclive (m);

$C_d$  = comprimento de rampa em declive (m).

### Estabelecimento do(s) greide(s) compensado(s)

Inicialmente, deve-se estabelecer um fator de compensação( $F_g$ ), o qual varia de 0 a 1, que é função do comprimento de rampa em aclive e em declive. A finalidade deste fator é compensar os valores de cada greide do trecho de estrada florestal em questão. A fórmula matemática desenvolvida para se calcular o greide compensado é a seguinte:

$$F_g = (G_a \text{ ou } G_d) / CT \quad , \text{ em que}$$

$CT$  = comprimento total de rampa em cada situação, isto é, aclive ou declive(m).

Para se calcular o greide compensado, é necessário apenas multiplicar o fator de compensação pelo seu respectivo greide ponderado, conforme descrito a seguir:

$$GCa = G_a \cdot F_g \quad \text{ou} \quad GCd = G_d \cdot F_g \quad , \text{ em que}$$

$GCa$  = greide compensado em aclive(%);

$GCd$  = greide compensado em declive (%).

Finalmente, para se chegar ao alinhamento vertical, procurou-se estabelecer uma sequência de greide, obedecendo-se ao critério de redução de velocidade do veículo. Foram simuladas diversas possibilidades com dados de literatura e de estudos-piloto realizados previamente, obtendo-se a seguinte relação definitiva:

$$V_a = 0 \leq V < -4 \%$$

$$V_b = 0 < V \leq +4 \%$$

$$V_c = -4 \leq V < -7 \%$$

$$V_d = -7 \leq V < -10 \%$$

$$V_e = +4 < V \leq +7 \%$$

$$V_f = V \geq -10 \%$$

$$V_g = +7 < V \leq +10 \%$$

$$V_h = V > +10 \%$$

### 5.5.3. Desenvolvimento e Classificação do Índice de Largura da Pista de Rolamento da Estrada Florestal

Observou-se, através da literatura especializada, que a largura da pista de rolamento da estrada florestal é uma das variáveis mais importantes, influenciando o desempenho dos veículos de transporte rodoviário.

Realizou-se um criterioso estudo desse parâmetro, que subsidiou o desenvolvimento do índice de largura da pista de rolamento de uma estrada florestal. Assim, foram convencionados três tipos básicos:

#### 5.5.3.1. Pista dupla

Situação em que dois veículos possam se cruzar ou ultrapassar, sem haver redução drástica da velocidade de operação. Tecnicamente, isto somente é possível quando existe uma largura de pista de rolamento superior a 7,00 metros.

Geralmente, recomendam-se a pista dupla para situações de ALTA densidade de tráfego e para quaisquer classes de veículos de transporte, e a densidade MÉDIA de tráfego para

veículos pesados e semi-pesados. A classificação da densidade de tráfego se encontra no sub-ítem 6.3.2.2, alínea J.

#### 5.5.3.2. Pista semi-dupla

Este é um caso intermediário entre as situações de pista dupla e única. Geralmente, o cruzamento ou a ultrapassagem de veículos LEVES e/ou MÉDIOS requer a redução drástica da velocidade de operação, sendo recomendada para uma densidade de tráfego MÉDIA OU BAIXA.

Apesar da possibilidade técnica desta classe, sugere-se substituí-la, sempre que possível, pela pista dupla ou única, segundo a densidade do tráfego e classe de veículo.

A largura da pista de rolamento, neste caso, deve estar entre 5 e 7 metros.

#### 5.5.3.3. Pista única

Geralmente, a largura da pista de rolamento é inferior a 5 metros, porém deve possuir áreas de cruzamento de veículos, tecnicamente espaçadas segundo a visibilidade, densidade de tráfego etc, as quais são construídas sempre à direita do sentido da viagem vazia, de tal forma que a preferencial é do veículo carregado, evitando-se a redução da velocidade de operação carregada e, conseqüentemente, o rendimento energético.

A pista única é recomendada para uma densidade de tráfego BAIXA, indiferentemente da classe de veículo de transporte.

## 5.6. DESENVOLVIMENTO E CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPERFÍCIE DA PISTA DE ROLAMENTO DA ESTRADA FLORESTAL

Desenvolver um índice capaz de expressar a resistência ao movimento dos veículos de transporte, oriunda do atrito dos pneumáticos com a superfície da pista de rolamento, através da penetração e/ou flexão dos pneus, foi também uma questão fundamental para este estudo.

Os principais parâmetros necessários para se estabelecer quantitativamente o índice de superfície da estrada são o tipo e a condição da superfície da pista de rolamento, o tipo de pneumático (com a devida pressão interna recomendada pelo fabricante) e o peso bruto total transportado.

Definiram-se dez classes de índices de superfície da pista de rolamento, com base em seu coeficiente de rolamento, conforme relacionado a seguir:

- . Sa(15 kg/ton) - superfície estabilizada granulometricamente, bem compactada, lisa e sem desgaste;
- . Sb(18 kg/ton) - superfície estabilizada granulometricamente, bem compactada, lisa e desgastada;
- . Sc(19 kg/ton) - superfície de solo natural liso e seco, mas não arenoso;
- . Sd(20 kg/ton) - superfície estabilizada granulometricamente, compactada, áspera e desgastada;
- . Se(25 kg/ton) - superfície estabilizada granulometricamente, muito áspera, rugosa e desgastada;
- . Sf(28 kg/ton) - superfície com solo natural rugoso e seco (solo não arenoso);



- . Sg(40 kg/ton) - superfície com solo natural rugoso, úmido e macio;
- . Sh(75 kg/ton) - superfície com solo natural arenoso e úmido;
- . Sl(100 kg/ton) - superfície com solo natural arenoso ou pedregulhoso seco e solto;
- . Sj(acima 100 kg/ton) - superfície com solo natural lamacento, rugoso, esburacada, praticamente inviabilizando o tráfego.

## 5.7. METODOLOGIA ESTATÍSTICA UTILIZADA

Para atingir os objetivos de uma pesquisa, foi necessário o uso de uma metodologia estatística capaz de avaliar adequadamente as informações de campo, de tal modo que haja sustentação dos mesmos. Assim, foi utilizada, principalmente, a Análise Estatística Multivariada, visando obter resultados que possam suportar as conclusões, e que respondam, por sua vez, aos objetivos inicialmente propostos.

### 5.7.1. Análise Estatística Multivariada

As técnicas multivariadas surgiram no início do século, mas somente nestas últimas três décadas vêm recebendo merecidas contribuições, as quais têm qualificado as formulações teórico-matemáticas. Na verdade, as suas aplicações têm sido reduzidas no Brasil, especialmente no campo da Ciência Florestal. Para se ter uma idéia, não se têm notícias da uti-

lização destas técnicas matematico-estatísticas modernas, no setor de exploração e transporte florestal brasileiro.

As análises estatísticas comumente utilizadas no setor florestal concentram-se nas análises de correlação e regressão, portanto bastante limitadas, uma vez que não possibilitam uma exploração mais racional e profunda dos dados. De acordo com CLEMENTE<sup>7</sup>, as análises de correlação e regressão são impotentes frente aos problemas de conceito e estrutura interna dos modelos teóricos, e são incapazes de explorar a maior parcela do potencial de informações dos dados. As técnicas multivariadas independem da correspondência entre o modelo teórico e os dados estatísticos, isto é, dependem simplesmente de hipóteses gerais "a priori", acerca dos fenômenos.

#### 5.7.1.1. Análise de componentes principais

A Análise de Componentes Principais consiste, basicamente, de acordo com CLEMENTE<sup>7</sup>, na transformação de um conjunto original de variáveis noutro conjunto de variáveis hipotéticas, de modo que expliquem cada uma a maior parcela possível da variância residual. Nesta pesquisa, esta técnica multivariada foi utilizada para a seleção das variáveis relevantes, a partir do conjunto original de 17 variáveis, inicialmente estabelecidas através de um exaustivo levantamento da literatura especializada, testes de campo e simulações.

#### 5.7.1.2. Análise fatorial

A Análise Fatorial relaciona, internamente, um conjunto de variáveis, substituindo-as por um outro conjunto de variáveis denominadas Fator ou Variáveis Hipotéticas, não-correlacionadas (fatores ortogonais) e que expliquem a maior parte da variância do conjunto original. Na verdade, é uma técnica de redução das dimensões da matriz original e investigação das estruturas de relações não-arentes.

De acordo com FAISSOL<sup>13</sup>, uma análise detalhada desta técnica, no que tange aos seus objetivos, premissas básicas, modelos de rotação (ortogonal ou oblíquo) mais adequado ao problema que se deseja enfocar, seleção criteriosa das variáveis e unidades observacionais, que devem ser representativas do problema, e objetivos definidos para o trabalho, é indispensável antes de seu uso.

A Análise Fatorial, que é uma análise de covariação, se baseia no fato de que, dado um conjunto de variáveis, existe uma parte da variação total observada que é partilhada pelas variáveis e outra parte que é específica a cada uma delas no conjunto. Em outras palavras:

comunalidade - fatores comuns influenciando, simultaneamente, duas ou mais variáveis do mesmo conjunto de dados;

unicidade - fatores específicos contribuindo para a variação observada de uma única variável do conjunto de dados.

CLEMENTE<sup>7</sup> atribui ao fato de as variáveis possuírem parte da variação em comum, significar que elas se sobrepõem parcialmente, e medem a mesma coisa. Portanto, a estrutura pode ser representada de modo mais eficiente e inteligível. Conseqüentemente, as correlações são vistas como o resultado da existência de fatores subjacentes comuns às variáveis e à explicitação desta estrutura subjacente, o que é o principal objetivo da Análise Fatorial.

Para se utilizar corretamente a Análise Fatorial, deve-se ter o fator de unicidade ortogonal, relativo não só aos fatores de comunalidades, que influenciam a variável em questão, mas também a todos os outros fatores de comunalidade. Além do mais, quaisquer dos dois fatores de unicidade de variáveis distintas devem ser ortogonais entre si.

Assim, a Análise Fatorial pode ser interpretada como uma técnica onde um conjunto inicial de variáveis é representado por um novo conjunto reduzido de variáveis, de modo a esgotar as correlações totais ou parciais. A variância total observada, através de uma variável qualquer, tem três origens distintas: Fatores Comuns, Fatores Específicos e Erros.

Pode-se visualizar melhor esta situação através da seguinte equação matemática:

$$| VI = CI + UI + RI | \quad \text{em que}$$

VI = Variância total observada;

CI = Comunalidade;

UI = Unicidade;

RI = Variância residual (erros de amostragem).

Um fato importante que deve ser considerado, é que se existem erros de mensuração, mas o tamanho da amostra é grande, pode-se desconsiderar a variância residual (RI).

#### 5.7.1.2.1. Premissas da análise fatorial

A unidade de análise deve possuir características de coletividade, tendo variância interna não relevante, ao mesmo tempo que não é substancialmente diferente da variância interna nas diferentes unidades.

Uma base teórica concreta deve sempre orientar a análise, sendo indispensável que a unidade de amostra seja representativa do sistema, havendo, portanto, um tamanho mínimo e uma dada padronização, de forma a se evitar a introdução de tendenciosidade (bias) na amostra.

O tamanho de cada segmento do estrato (amostra) será de mil metros, que é estatisticamente eficaz na avaliação técnica das relações entre os fatores inerentes à rodovia florestal e ao desempenho dos veículos de transporte. Para provar isso, realizou-se um teste prévio, onde se comparou diversos tamanhos de segmento do estrato, não se observando diferença significativa dos resultados, em relação aos tamanhos maiores do que mil metros.

A fim de processar os dados de campo, foi utilizado o "software" SAEG, que, dentro de sua gama de programas, trabalha com fatores obtidos na análise do tipo Varimax (eixos de referência ortogonal). Portanto, os fatores são independentes estatisticamente e não pode haver coeficiente de correlação entre eles. O VARIMAX procura aproximar os coeficientes de cada fator tanto quanto possível dos valores extremos 0 e 1. CLEMENTE<sup>7</sup> observou que pouca atenção é dada à importância relativa dos fatores; mas se existe um único fator fortemente dominante, o método pode apresentar resultados precários. Apesar disto, a rotação VARIMAX é a mais comum e amplamente utilizada, porque procura fazer emergir uma estrutura simples em termos de fator.

Na verdade, o uso da rotação ortogonal é indicado para as condições onde existem poucas variáveis contribuindo para a explicação de cada fator (aproximadamente três variáveis), principalmente para o primeiro fator.

Um dos maiores problemas da Análise Fatorial é a deficiência dos testes estatísticos em delimitar o número de fatores. Cattell, citado por CLEMENTE<sup>7</sup>, preconiza que ao invés de delimitar-se o número de fatores com base no critério estatístico, o analista deve extrair o máximo de número de fatores, e, então, com base no seu conhecimento técnico, separá-los em fatores verdadeiros e falsos. Por outro lado, FAISSOL<sup>13</sup> afirma que, apesar de ser polêmica a fixação do número de variáveis e fatores, pode-se dizer que até seis fatores e até 6 variáveis por fator são valores adequados, subordinados

ao princípio de que estes fatores expliquem uma fração substancial da variância total, isto é, pelo menos 60%.

#### 5.7.1.2.2. Escore fatorial

O significado do escore fatorial é dado pelo seu Autovalor, que é a soma dos quadrados das correlações das variáveis com o fator. Quando as correlações são elevadas, talvez não esteja se adicionando nada e sim reforçando o fator, quase que por multiplicação. FAISSOL<sup>13</sup> lembra que, embora seja válido utilizar a Análise Fatorial à procura de uma estrutura de inter-relações, em um conjunto de dados, deve-se buscar a formulação de uma hipótese sobre tal estrutura, que em última análise a testará e descreverá. Em suma, o escore fatorial é a denominação utilizada para a correlação existente entre cada unidade de amostra e seu respectivo fator.

#### 5.7.1.2.3. Utilização e interpretação da análise fatorial

Os procedimentos para a Utilização da Análise Fatorial obedecem a três etapas básicas, ou sejam, a retirada de fatores da matriz de correlações, a rotação dos eixos de referência e a interpretação dos fatores.

O cálculo e impressão das correlações entre variáveis, a partir da matriz de correlação, pode dar condições para se testar a qualidade das variáveis seleccionadas, bem como gerar os fatores. Outros elementos de grande importância para se interpretar os resultados da Análise Fatorial, são a Comunalidade (percentual de explicação de cada variável), que

fornece a hierarquia entre as variáveis, e o Autovalor ( percentual de explicação de cada fator).

O Coeficiente de Conexão, neste trabalho, será utilizado para se interpretar a caracterização de cada variável em cada fator. Geralmente, os números de maiores valores, no conjunto de variáveis, em cada fator, são interpretados como sendo os de maiores pesos("loading"); portanto são aqueles coeficientes de conexão que melhor caracterizam o fator.

#### 5.7.2. Análise de regressão linear múltipla

Existe uma grande limitação da Análise de Regressão Linear Múltipla quando se utiliza um conjunto de dados de distribuição inadequada ao modelo linear, pois pode-se falsear os resultados. As principais situações são as distribuições truncadas, as distribuições bimodais, as distribuições com muito poucos casos extremos, a separação muito forte em variáveis dicotomizadas e as variáveis cujo melhor ajuste seria via regressão não linear.

Considerando-se que todos os fatores oriundos da Análise Fatorial, por possuírem média zero e variância um e seguem perfeitamente a distribuição normal, e que eles serão as variáveis hipotetizadas utilizadas na análise de regressão, então não há razão de se preocupar com o problema de distribuição. Na verdade, a matriz "r" é normalizada de variância e covariância.

Para FAISSOL<sup>13</sup>, o método mais comum de se calcular os Escores dos lugares nos fatores é o de regressão múltipla,



conforme a equação:

$$| Zf | = B1Z1 | + B2Z2 | + B3Z3 | + \dots + BnZn | | , \text{ em que}$$

$Bf |$  = Escore do lugar  $|$ , no fator  $f$ ;

$Z1 |$  = Valor padronizado da variável 1 para o lugar  $|$ ;

$Zn |$  = Todos os outros valores padronizados da variável  $n$  ( $n = 2, 3 \dots$ ) para o lugar  $|$ ;

$B1$  = Coeficiente de regressão para a variável 1.

Os padrões standardizados de "n" variáveis para lugares são conhecidos, podendo ser utilizados todos os coeficientes para todas as variáveis, mesmo com valores muito baixos, por causa de baixas correlações. Pode-se, também, selecionar um grupo de variáveis com uma dada correlação mínima.

Na verdade, utilizam-se no processo todos os coeficientes, visando formar o eixo-fator com contribuição de todas as variáveis independentes para a posição dos lugares no fator. Em termos práticos, os escores em cada fator são independentes estatisticamente uns dos outros, conforme já discutido anteriormente.

Não é recomendada a eliminação de variáveis originais relevantes, em virtude de problemas de resposta na análise, já que o objetivo de uma pesquisa, é a utilização de um método estatístico capaz de descrever o fenômeno procurado.

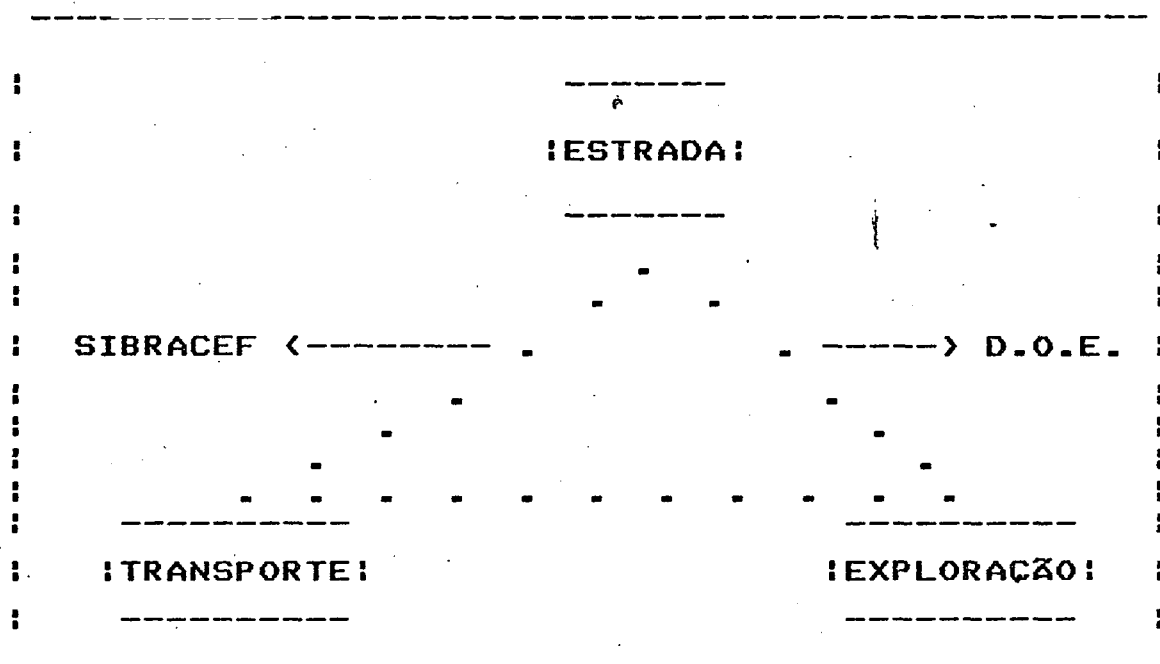
## 5.8. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DO SIBRACEF

O desenvolvimento teórico do SIBRACEF, se baseou numa filosofia moderna de inter-relação quali-quantitativa, das variáveis relevantes do binômio Estrada/transporte florestal, sendo constituído por informações essenciais e acessórias.

### 5.8.1. Filosofia

Analisando-se a relação existente entre os binômios ESTRADA-TRANSPORTE e ESTRADA-EXPLORAÇÃO florestal, ilustrados pela figura 14, verifica-se a importância do desenvolvimento do SIBRACEF para a modernização do setor.

**FIGURA 14 - Relação quali-quantitativa entre os binômios ESTRADA/TRANSPORTE e ESTRADA/EXPLORAÇÃO florestal**



A Densidade Ótima de Estradas Florestais (DOE) otimiza o binômio Estrada/Exploração florestal, em termos técnicos e econômicos. De forma similar, procurou-se desenvolver o SIBRACEF para otimizar o binômio Estrada/Transporte florestal. É importante salientar que a DOE é uma técnica quantitativa, pois estabelece o volume de estradas para uma determinada área florestal, enquanto o SIBRACEF é uma técnica qualitativa, uma vez que estabelece o padrão ideal de estrada para um determinado meio de transporte rodoviário florestal, e vice-versa.

Um outro ponto a ser considerado, é a relação entre a rede rodoviária florestal e a pública. Como o setor privado não tem jurisdição sobre a pública, deve-se realizar uma análise técnico-econômica específica futura visando solucionar o problema de dimensionamento e seleção da frota de veículos, pátios intermediários etc.

#### 5.8.2. Constituição do SIBRACEF

O SIBRACEF é constituído fundamentalmente por dois tipos de informações, quais sejam, as essenciais e as acessórias.

##### 5.8.2.1. Informações essenciais

Estas informações são de carácter técnico-econômico, oriundas da relação Estrada/Transporte florestal, e são as responsáveis pela formação das classes do SIBRACEF. Por exemplo, a potência do motor, a largura da pista de rolamento

da estrada, os alinhamentos horizontal e vertical, através de procedimentos matemático-estatísticos adequados, darão origem à velocidade de operação da viagem carregada e ao rendimento energético, relacionando-os com as classes do SIBRACEF.

#### 5.8.2.2. Informações acessórias

As classes essenciais do SIBRACEF podem ser complementadas com as informações acessórias, as quais melhoram sobremaneira as informações a serem geradas pelo sistema.

Basicamente, as informações acessórias compõem-se da carga normativa por eixo-padrão, que depende da vida útil do projeto, por fator de eixos e fator de carga.

A carga normativa(N) é tradicionalmente estimada para as estradas permanentes pela seguinte equação matemática:

$$N = 365 \cdot P \cdot D_m \cdot F_c \cdot F_e \cdot F_r$$

A vida da estrada(P), dependendo de sua qualidade, geralmente é depreciada em no mínimo 20 anos. Todavia, nos casos de estradas florestais temporárias, seja por motivo do ciclo produtivo da floresta seja devido à intransitabilidade da mesma, por razões climáticas desfavoráveis, devem ser estabelecidos valores correspondentes, de forma a se obter o número de dias de utilização e substituí-lo diretamente na fórmula de N. Dessa forma, obtém-se o valor correspondente ao uso anual da estrada em questão.

A densidade média de tráfego( $D_m$ ) é definida como a quantidade média diária de caminhões ou composições veiculares carregadas, transitando pela estrada florestal. No caso das estradas principais, geralmente permanentes, a densidade média de tráfego( $D_m$ ) deve ser estimada por amostragem ou mesmo pelo organograma do transporte de madeira da empresa florestal. Todavia, nas estradas secundárias, geralmente temporárias, devido ao ciclo produtivo da floresta ou às condições climáticas desfavoráveis, a densidade média de tráfego( $D_m$ ) deve ser estabelecida em função do tipo e duração do tráfego.

O fator de carga( $F_c$ ) é um coeficiente tabelar, comumente encontrado na literatura especializada, que, multiplicado pelo número de eixos do(s) veículo(s) que circula(m) na estrada florestal, fornece o número de equivalentes, do ponto de vista destrutivo, de eixos padrões.

O fator de eixos( $F_e$ ) é um coeficiente tabelar, comumente encontrado na literatura especializada, que, multiplicado pelo percentual de veículos que circulam na estrada florestal, fornece o número de eixos correspondentes.

O fator climático( $F_r$ ) é um coeficiente tabelar, geralmente encontrado na literatura de pavimentação rodoviária. A umidade dos materiais que constituem o pavimento, durante as diversas estações do ano altera a capacidade de suporte destes materiais, além de favorecer a erosão da superfície da pista de rolamento da estrada.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Fôram criados, inicialmente, quatro arquivos de dados denominados SIBRACE1, SIBRACE2, SIBRACE3 e SIBRACE4, os quais representam cada um dos quatro tipos de composições veiculares estudadas, respectivamente, RODOTREM, TREMINHÃO, CONJUGADO(BIMINHÃO) e CAMINHÃO.

O SIBRACE1 possui 277 observações, o SIBRACE2 97, o SIBRACE3 576 e, finalmente, o SIBRACE4 789 observações. Neste montante, incluem-se as observações tomadas com os veículos carregados e descarregados, nos trechos experimentais, incorporando-se, evidentemente, todas as variáveis originalmente relevantes. A diversificação do número de observações coletadas deve-se à variação das características técnicas das composições veiculares estudadas, tais como a marca, o modelo, o tipo de tração, a potência etc.

A estrutura dos arquivos é composta por 17 variáveis, cada uma delas com valores numéricos de até seis decimais. Sequencialmente, têm-se: Largura e Superfície da Pista de Rolamento, Alinhamentos Vertical e Horizontal, Velocidades Carregada e Descarregada, Potência Efetiva do Motor, Peso Bruto Total Transportado, Tara do Veículo, Consumo Específico e Relativo do Motor, Densidade do Tráfego, Rendimento Energético Bruto, Tipo de Composição Veicular, Marca do Veículo, Peso Específico do Combustível e Relação Peso/Potência do Veículo.

Considerando-se que os quatro arquivos possuem a mesma estrutura, criou-se um quinto arquivo, denominado "GERAL", reunindo-se todos os outros quatro arquivos, de forma que possibilitasse analisar, também, os dados em conjunto. Este arquivo é composto por 972 observações, com as mesmas 17 variáveis originalmente relevantes, reunindo-se somente aquelas observações referentes ao veículo carregado.

## 6.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Na fase de desenvolvimento teórico do SIBRACEF, verificou-se uma infinidade de características técnicas inerentes à estrada florestal e ao meio de transporte rodoviário, as quais foram ser estudadas simultaneamente, de forma interativa e quali-quantitativa.

### 6.2.1. Análise de Componentes Principais

Realizou-se uma análise de componentes principais com os dados do arquivo "GERAL", formado por 972 observações e pelas 17 variáveis originais. Seus componentes principais foram extraídos da matriz de correlação das variáveis na forma padronizada, uma vez que seus valores possuem unidades de medidas diferentes. Observando-se os cinco primeiros componentes principais, cuja variância acumulada é igual a 96%, selecionaram-se apenas 11 variáveis relevantes, as quais possuíam coeficientes de conexão acima de 60%. Estas variáveis relevantes são: Largura da Pista de Rolamento da Estrada, Superfície da Pista de Rolamento, Alinhamento Horizontal, Alinha-

mento Vertical, Composição Veicular, Consumo Específico do motor, Potência Efetiva do Motor, Peso Bruto Total Transportado, Velocidade de Operação Carregada, Densidade do Tráfego e Rendimento Energético Bruto do veículo, que serão as variáveis definitivas desta pesquisa.

É importante salientar, ainda, que a análise de componentes principais ratificou integralmente as variáveis relevantes do ponto de vista prático, tanto em relação à estrada quanto ao meio de transporte florestal.

#### 6.2.2. Análise Fatorial

A razão filosófica, segundo FAISSOL<sup>13</sup>, para se adotar a Análise Fatorial é que ela seja tomada como um instrumento de identificação das relações a diferentes níveis de solução do sistema, não podendo servir como início e fim da análise, iniciando-se com conjuntos de dados originais inquestionáveis e conjuntos inquestionáveis de fatores ou variáveis hipotéticas originados dos mesmos.

O planejamento de uma Análise Fatorial requer inicialmente uma definição clara de seu domínio e do conjunto de fatores hipotetizados, constituindo a estrutura básica do modelo. Como se estuda o binômio Estrada/Transporte florestal, então é lógico supor que um dos fatores esperados descreverá o desempenho do veículo de transporte e que a estrutura deste fator será descrita por variáveis como a largura da estrada, tipo de revestimento da superfície de rolamento, e principalmente pelas variáveis inerentes ao próprio veículo, tais como



o peso bruto total transportado, potência do motor etc., relevantes para descrever o rendimento energético bruto do meio de transporte rodoviário florestal.

O estabelecimento de hipóteses, que serve de guia para a adequada seleção de variáveis relevantes é de suma importância. Na verdade, o implícito na seleção de variáveis relevantes, mesmo condicionada à qualidade e à quantidade de dados de campo, é que a amostra seja satisfatória para descrever o sistema. É óbvio que tal decisão dependerá da formação profissional do pesquisador, por isto procurou-se consolidar, através da literatura especializada atual, de conversações com diversos pesquisadores nacionais e estrangeiros, a seleção criteriosa das 17 variáveis originalmente relevantes para esta pesquisa.

Tomou-se um cuidado especial ao se estabelecer o número de observações nesta pesquisa, de tal modo a se obter correlações estáveis. Além desta questão de validade estatística, tem-se também a questão da validade das correlações restritas a um número específico de lugares e de variáveis e que poderão mudar se houver alteração de lugares e de variáveis.

A pesquisa foi realizada em condições tecnicamente adequadas para os veículos de transporte florestal existentes atualmente no mercado brasileiro: os Rodotrens e os Articulados em relevos planos ou suave-ondulados, com características geométricas de estradas de boa a excelente; os Treminhões em relevos planos, suave-ondulados ou ondulados, com caracterís-

ticas geométricas de estradas também de boa a excelente: os Conjugados(bimlinhão) em relevos planos, suave-ondulados ou ondulados, porém com características geométricas de estrada de regular a excelente; finalmente, os Caminhões para todas as situações de relevo estudado e com características geométricas de estrada também de regular a excelente.

#### 6.2.2.1. Objetivos e critérios de seleção

Inicialmente, segundo FAISSOL<sup>13</sup>, para se selecionarem unidades de análise, a serem estabelecidas criteriosamente, é necessário que os objetivos da pesquisa estejam bem definidos. Por outro lado, é importante estabelecer unidades de análise representativas para o universo que se deseja estudar, bem como as variáveis significativas para o problema em análise.

Selecionaram-se as unidades de amostras, através do estabelecimento de trechos experimentais, em situações de relevo plano, suave-ondulado e ondulado, para diferentes composições veiculares de transporte florestal e em diferentes épocas do ano. As variáveis originais relevantes, estabelecidas na Análise de Componentes Principais, que representam as estradas e o meio de transporte florestal rodoviário, receberão um valor numérico correspondente a cada situação de variação dos parâmetros estudados. Esses valores representam as variáveis nas análises estatísticas a serem efetuadas. As referidas ligações serão apresentadas a seguir:

## a) Largura da Estrada(L=metros)

La = Pista única (L ≤ 5 ).....	1
Lb = Pista semi-dupla(5 < L ≤ 7 ).....	2
Lc = Pista dupla (L > 7 ).....	3

## b) Alinhamento Horizontal(AH=adimensional)

AHa = excelente (AH ≥ 50) .....	1
AHb = bom (25 ≤ AH < 50) .....	2
AHc = regular(10 ≤ AH < 25) .....	3
AHd = pobre (AH < 10) .....	4

## c) Alinhamento Vertical(AV=percentual)

AVa (0 ≤ AV < -4) .....	01
AVb (0 < AV ≤ +4) .....	03
AVc (-4 ≤ AV < -7).....	05
AVd (-7 ≤ AV < -10).....	07
AVe (+4 < AV ≤ +7) .....	11
AVf ( AV ≥ -10) .....	14
AVg (+7 < AV ≤ +10) .....	19
AVh (AV > + 10) .....	24
AVa + AVb .....	02
AVb + AVc .....	04
AVb + AVd .....	06
AVa + AVe .....	08
AVc + AVe .....	09
AVd + AVe .....	10
AVb + AVf .....	12
AVe + AVf .....	13
AVa + AVg .....	15
AVc + AVg .....	16
AVd + AVg .....	17
AVf + AVg .....	18
AVa + AVh .....	20
AVc + AVh .....	21
AVd + AVh .....	22
AVf + AVh .....	23

## d) Superfície da Pista de Rolamento(S=adimensional)

Sa .....	01
Sb .....	02
Sc .....	03
Sd .....	04
Se .....	05
Sf .....	06
Sg .....	07
Sh .....	08
Si .....	09
Sj .....	10

Obs: Se necessário, consulte item 5.6

## e) Composição veicular

. RODOTREM(cavalo 4x2 + um semi-reboque de 2 eixos + um reboque de 3 eixos) .....	01
. RODOTREM(cavalo 6x4 + um semi-reboque de 2 eixos + um reboque de 3 eixos) .....	02
. TREMINHÃO(caminhão-trator 6x4 + um reboque de 2 e outro de 3 eixos).....	03
. TREMINHÃO(caminhão-trator 6x4 + dois reboques de 2 eixos).....	04
. BIMINHÃO(Caminhão-trator 6x4 + um reboque de 2 eixos).....	05
. BIMINHÃO(Caminhão-trator 6x4 + um reboque de 3 eixos) .....	06
. CAMINHÃO(tração 4 x 2).....	07
. CAMINHÃO(tração 4 x 4) .....	08
. CAMINHÃO(tração 6 x 2) .....	09
. CAMINHÃO(tração 6 x 4) .....	10

## f) Consumo Específico do Motor(CONSESPE=Kg/cv.h)

0,143 a 0,149 .....	1
0,150 a 0,156 .....	2
0,157 a 0,163 .....	3

#### g) Velocidade de Operação Carregada

Os valores matemáticos dessa variável foram os seus próprios valores reais oriundos das informações de campo. A velocidade carregada, que é a de operação, é expressa em Km/h.

#### h) Potência Efetiva do Motor

Foram empregados valores de potência efetiva do motor, segundo a curva de performance do motor, dentro da faixa econômica de cada um deles, e no ponto de torque máximo. Corrigiu-se, também, a potência efetiva do motor em função da altitude regional e da temperatura ambiente. Esta variável é expressa em Cavalo-vapor(cv).

#### i) Peso Bruto Total Transportado

Esta variável é constituída pelos valores reais de peso bruto total transportado(carga+tara), em cada viagem, expresso em toneladas.

#### j) Densidade de Tráfego

A densidade de tráfego é classificada em três categorias básicas em função do volume diário de tráfego, conforme é relacionado a seguir:

.BAIXA (até 50 veículos diários).....	1
.MÉDIA (entre 50 e 300 veículos diários).....	2
.ALTA (acima de 300 veículos diários).....	3

k) Rendimento Energético Bruto (RENDENER = T.Km/L)

O Rendimento Energético é uma variável oriunda da relação existente entre a velocidade de operação carregada, o peso específico do combustível, a potência efetiva do motor, o consumo específico do motor e a carga bruta total transportada.

#### 6.2.2.2. Resultados da análise fatorial e sua interpretação

Utilizando-se o arquivo "GERAL", realizaram-se diversas análises fatoriais, com as 972 observações de composições veiculares carregadas e apenas com as variáveis estatisticamente relevantes, selecionadas através da análise de componentes principais (A.C.P.). Através da tabela 9, pode-se observar a relação das 10 variáveis independentes e relevantes, com seus respectivos coeficientes de variação (C.V.), selecionados do conjunto original de dados.

**TABELA 9 - Coeficientes de variação das variáveis originais selecionadas pela A.C.P.**

VARIÁVEIS INDEPENDENTES	COEF. DE VARIAÇÃO (C.V. = %)
Largura da estrada (LARGESTR)	55,6027
Alinhamento horizontal de estrada (ALINHORI)	57,7130
Alinhamento vertical estrada (ALINVERT)	74,3447
Superfície da estrada (SUPESTRA)	13,0700
Composição veicular (COMPVEIC)	43,3300
Consumo específico de combustível (CONSESPE)	24,5500
Velocidade de operação carregada (VELCARRE)	48,3800
Potência efetiva do motor (POTEFETI)	30,3086
Peso bruto total transportado (PESOTOTA)	55,5961
Densidade diária de tráfego (DENSIDAD)	34,8053

O Coeficiente de variação permite ter-se uma idéia da dispersão geral dos dados, uma vez que os seus valores são inversamente proporcionais à homogeneidade dos dados observados.

Para se evitar o uso da velocidade diretriz(projeto), realizou-se também uma Análise Fatorial para se prever, através de análise de regressão, valores de velocidade de operação com base em informações reais.

A tabela 10 representa a matriz de correlação simples entre as variáveis estatisticamente relevantes, oriundas do conjunto total de variáveis independentes.

**TABELA 10 - Matriz de correlação das variáveis independentes e relevantes.**

VARIÁVEL	LARGESTR	ALINHORI	ALINVERT	SUPESTRA	COMPVEIC	CONSESPE	VELCARRE	POTEFETI	PESOTOTA	DENSIDAD
LARGESTR	1,00000	0,28996	-0,38400	-0,99628	-0,74537	-0,47319	0,13892	0,46488	0,49139	-0,37832
ALINHORI	0,28996	1,00000	0,28726	-0,28924	-0,39144	-0,38788	-0,31481	0,40532	0,40726	-0,39843
ALINVERT	-0,38400	0,28726	1,00000	0,38274	0,08557	-0,01653	-0,16415	0,03163	0,01968	-0,21101
SUPESTRA	-0,99628	-0,28924	0,38274	1,00000	0,74234	0,47018	-0,13649	-0,46348	0,48964	0,36894
COMPVEIC	-0,74537	-0,39144	0,08557	0,74234	1,00000	0,83967	0,20437	-0,86070	-0,88461	0,80913
CONSESPE	-0,47319	-0,38788	-0,12513	0,47018	0,83967	1,00000	0,38119	-0,89319	-0,91179	0,92641
VELCARRE	0,13892	-0,31481	-0,70983	-0,13649	0,20437	0,38119	1,00000	-0,41692	-0,42509	0,47861
POTEFETI	0,46488	0,40532	0,15726	-0,46348	-0,86070	-0,89319	-0,41692	1,00000	0,96068	-0,97306
PESOTOTA	0,49139	0,40726	0,12776	-0,48964	-0,88461	-0,91179	-0,42509	0,96068	1,00000	-0,96984
DENSIDAD	-0,37832	-0,39843	-0,21101	0,36894	0,80913	0,92641	0,47861	-0,97306	-0,96984	1,00000

Pode-se observar que algumas variáveis se relacionam intensamente. Por exemplo, a largura da estrada se relaciona inversamente muito bem com a superfície da pista de rolamento da estrada florestal. Isto, na prática, quer dizer que se a

superfície de rolamento da estrada florestal é de baixa qualidade, então deve-se ter uma largura maior. Nota-se, também, uma relação direta entre as variáveis composição veicular e a superfície da estrada, podendo ser interpretada assim: "à medida em que as condições e tipo de superfície da estrada decrescem qualitativamente, tende-se a inviabilizar o uso de composições veiculares de grande porte".

Ainda na tabela 10, verificou-se uma elevada correlação inversa entre as variáveis composição veicular e as variáveis peso bruto total transportado e potência efetiva do motor. Isto significa que deve haver maior potência para as maiores composições veiculares, bem como as mesmas devem transportar maiores cargas. Enfim, pode-se estabelecer outras correlações entre as variáveis, desde que se observem os índices da matriz de correlação entre as variáveis.

A partir da matriz de correlação( $r$ ) das variáveis independentes é que se pode testar a qualidade das variáveis selecionadas e daí gerar os fatores. A matriz " $r$ " é uma matriz normalizada de variância e covariância.

Para a interpretação correta dos resultados da análise fatorial, é aconselhável compilar os dados em tabelas, segundo o critério de hierarquia da matriz dos escores fatoriais, ou seja, uma matriz contendo a relação entre as variáveis relevantes e os escores fatoriais, conforme mostrado nas tabelas 11 e 12, respectivamente para as variáveis VELCARRE E RENDENER. Vale salientar que sendo a variável independente ALINHORI a dominante, nos dois casos, dado que a mesma possui



o maior valor de comunalidade entre todas as variáveis, os eixos foram rotacionados em função dela. A classificação hierárquica destas variáveis se encontra indicada entre parênteses.

**TABELA 11 - Matriz de correlações das variáveis independentes com os fatores após a rotação dos eixos ortogonais para a variável dependente VELCARRE**

VARIÁVEIS	COMUNA- LIDADES	MATRIZ DOS FATORES			
INDEPENDENTES	(%)	\$F1	\$F2	\$F3	\$F4
1. LARGESTR	(3)99,506	.27178	.93568	.11093	-.18274
2. ALINHORI	(1)99,999	.23967	.15926	.94463	.15765
3. ALINVERT	(2)99,993	.13271	-.28516	.16239	.93522
4. SUPESTRA	(4)99,437	-.26929	-.93652	-.11032	.18060
5. COMPVEIC	(8)93,718	-.77723	-.55919	-.13145	.05586
6. CONSESPE	(9)90,850	-.91371	-.23220	-.13067	-.05138
7. POTEFETI	(7)95,951	.94084	.22006	.14042	.07867
8. PESOTOTA	(6)97,110	.94240	.24491	.14218	.05278
9. DENSIDAD	(5)98,541	-.97149	-.11065	-.14071	-.09787
.....					
AUTOVALOR RELATIVO(%)		62,074	20,890	9,843	4,428
EXPLICAÇÃO ACUMULADA(%)		62,074	82,964	92,807	97,235
-----					
EXPLICAÇÃO TOTAL DOS 4 FATORES: 97,235%					
=====					
\$F1 = Desempenho dos veículos de transporte florestal;					
\$F2 = Largura/superfície da pista de rolamento da estrada florestal;					
\$F3 = Planimetria da estrada florestal;					
\$F4 = Altimetria da estrada florestal.					

**TABELA 12 - Matriz de correlações das variáveis independentes com os fatores após a rotação dos eixos ortogonais para a variável dependente RENDENER**

VARIÁVEIS	COMUNA-	MATRIZ DOS FATORES			
INDEPENDENTES	LIDADES (%)	\$F1	\$F2	\$F3	\$F4
01.LARGESTR	(4) 99,510	.2877	-.9334	.1050	-.0720
02.ALINHORI	(1) 99,998	.2380	-.1830	.9420	.1000
03.ALINVERT	(2) 99,976	.0970	.2860	.1640	.3230
04.SUPESTRA	(5) 99,447	-.2840	.9350	-.1050	.0688
05.COMPVEIC	(9) 93,786	-.7833	.5556	-.1243	-.0277
06.CONSESPE	(10) 91,048	-.9122	.2288	-.1221	-.0860
07.VELCARRE	(3) 99,937	-.3199	-.1299	-.1277	-.8412
08.POTEFETI	(8) 95,924	-.9355	-.2165	.1332	.1200
09.PESOTOTA	(7) 97,205	.9933	-.2433	.1335	.1554
10.DENSIDAD	(6) 98,547	-.9605	.1080	-.1323	-.1646
AUTOVALOR RELATIVO(%)		57,091	24,086	8,991	5,041
EXPLICAÇÃO ACUMULADA(%)		57,091	81,177	90,168	95,209
EXPLICAÇÃO TOTAL DOS 4 FATORES: 95,209%					
\$F1 = Desempenho dos veículos de transporte florestal;					
\$F2 = Largura/superfície da pista de rolamento da rodovia;					
\$F3 = Geometria da estrada florestal;					
\$F4 = Velocidade de operação do veículo carregado.					

Para se evitar uma má interpretação, deve-se analisar os Coeficientes de Conexão dos escores fatoriais, tomando-se o conjunto de variáveis que as desenvolvem. Neste caso, verifica-se que no fator 1, denominado Desempenho dos Veículos, estão envolvidos os Coeficientes de Conexão, de maior peso, relativos às variáveis Composição Veicular, Consumo Específico do Veículo, Potência Efetiva do Motor, Peso Bruto Total Transportado e Densidade de Tráfego, para explicar a maior parte da variância total dos escores fatoriais, ou seja,

62,074% para a variável VELCARRE e 57,091% para a variável RENDENER, conforme apresentado nas tabelas 11 e 12.

O fator 2, denominado Largura/Superfície da pista de rolamento da estrada florestal, é responsável pela explicação de 20,890% e 24,086% da variância total, respectivamente, para as variáveis VELCARRE e RENDENER.

O fator 3, denominado planimetria e geometria da estrada florestal, que explica cerca de 9,843% e 8,991% da variância total, respectivamente para as variáveis VELCARRE e RENDENER, é composto principalmente pelas variáveis independentes Alinhamento Horizontal e Alinhamento Vertical, as quais possuem coeficientes de conexão de maior peso.

O coeficiente de conexão de maior peso do fator 4, responsável pela explicação de cerca de 4,428% e 5,041%, respectivamente para as variáveis VELCARRE e RENDENER, são compostos pelas variáveis independentes Alinhamento Vertical e Velocidade de Operação Carregada.

A explicação acumulada das variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER são, respectivamente, 97,235% e 95,209% da variância total. Portanto, trabalhou-se com um percentual de explicação muito elevado, mas se houvesse a necessidade de uma explicação ainda maior, haveria de se tomar mais fatores.

Vale salientar que existe uma reciprocidade de colaboração entre as variáveis independentes que formam cada um dos 4 fatores, dependendo de cada um dos casos. Pode-se observar, através das tabelas 11 e 12, por exemplo, que a variável independente Densidade de Tráfego traduz no melhor

Coefficiente de Conexão, ou seja, o de maior peso, do principal fator(\$F1) da variável VELCARRE, e ainda colabora na constituição dos outros fatores. No caso da variável RENDENER, a variável independente com maior coeficiente de conexão é o Peso Total Bruto Transportado.

Um fato marcante que ainda pode ser observado nas tabelas 11 e 12, é a existência de quatro Coeficientes de Conexão explicando o primeiro fator, cerca de dois o segundo, e apenas um ou dois explicando cada um dos outros dois fatores, respectivamente, para as variáveis VELCARRE e RENDENER.

Como mencionado anteriormente, é muito polêmico o estabelecimento do número exato de variáveis e fatores; por isso é importante dar maior ênfase ao uso adequado do eixo de rotação. Neste caso, utilizou-se o ortogonal, em virtude do baixo número de Coeficientes de Conexão explicando cada fator, subordinado ao princípio de que estes fatores expliquem uma fração substancial das variáveis envolvidas. Na realidade, os resultados da Análise Fatorial satisfazem plenamente, uma vez que a recomendação é de pelo menos 60% de explicação total, o que praticamente foi conseguido com o primeiro fator, em cada uma das análises.

### 6.3. ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Utilizaram-se, nesta Análise de Regressão, fatores(variáveis hipotéticas) provenientes de um modelo latente de primeira ordem da análise fatorial; mas com base na matriz de correlação dos fatores, poder-se-ia extrair fatores de se-

gunda ordem, ou de ordem superior, o que não foi necessário devido aos bons resultados obtidos nesta primeira fase.

As tabelas 13 e 14 apresentam os resultados estatísticos de Média, Desvio-padrão e Variância, respectivamente, das variáveis dependentes VERGARRE e RENDENER.

**TABELA 13 - Média, Desvio-padrão e Variância dos escores fatoriais da variável dependente "VELCARRE"**

NOME	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	VARIÂNCIA
VELCARRE	26,6383	12,8864	166,0593
\$F1	0,0000	4,7958	22,9997
\$F2	0,0000	2,9920	8,9521
\$F3	0,0000	1,5089	2,2768
\$F4	0,0000	1,2085	1,4605

**TABELA 14 - Média, Desvio-Padrão e Variância dos escores fatoriais da variável dependente "RENDENER"**

NOME	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	VARIÂNCIA
RENDENER	28,2391	14,4077	207,5818
\$F1	0,0000	4,9188	24,1749
\$F2	0,0000	2,9780	8,8685
\$F3	0,0000	1,5294	2,3391
\$F4	0,0000	1,4377	2,0670

São as matrizes de correlações dos fatores relevantes da análise fatorial, apresentadas nas tabelas 15 e 16, que serão utilizadas nas Análises de Regressão Linear Múltipla.

**TABELA 15 - Matriz de correlações dos fatores relevantes da análise fatorial-VELCARRE**

NOME	VELCARRE	\$F1	\$F2	\$F3	\$F4
VELCARRE	1,00000	-0,38787	-0,01388	-0,42759	-0,72301
\$F1	-0,38787	1,00000	0,81720	0,82562	0,14771
\$F2	-0,01388	0,81720	1,00000	0,68659	-0,34215
\$F3	-0,42759	0,82562	0,68659	1,00000	0,31870
\$F4	-0,72301	0,14771	-0,34215	0,31870	1,00000

**TABELA 16 - Matriz de correlações dos fatores relevantes da análise fatorial-RENDER**

NOME	RENDER	\$F1	\$F2	\$F3	\$F4
RENDER	1,00000	0,24361	-0,58003	0,01390	-0,53054
\$F1	0,24361	1,00000	-0,78194	0,82481	0,63365
\$F2	-0,58003	-0,78194	1,00000	-0,62849	-0,10744
\$F3	0,01390	0,82481	-0,62849	1,00000	0,67070
\$F4	-0,53054	0,63365	-0,10744	0,67070	1,00000

Quando duas ou mais variáveis independentes são altamente correlacionadas, pode-se ter problemas de multicolinearidade. Isto não gera problemas na predição da variável dependente, desde que não se procure predizer valores de X e Z afastados da reta de colinearidade; portanto é impossível investigar a influência de X e Z (somente) sobre Y. Assim, todas as combinações de X e Z devem recair sobre a reta, fornecendo uma colinearidade perfeita.

A multicolinearidade entre os preditores remete novamente à consideração dos problemas de conceito e estrutura.

Nesta pesquisa, como o modelo está rigorosamente definido em termos de categorias de análise, como consequência os dados disponíveis se adequam prontamente aos trabalhos empíricos, então pode-se dizer que duas variáveis originais ou hipotéticas fortemente correlacionadas podem ser importantes na previsão de uma terceira.

Analisando-se a correlação existente entre os fatores, apresentados nas tabelas 15 e 16, pode-se verificar que praticamente não existe multicolinearidade entre eles.

Empregando-se a opção BACKWARD, na Análise de Regressão Linear Múltipla realizada pelo SAEG, selecionaram-se automaticamente os fatores na equação final de regressão, quais sejam, \$F1, \$F2, \$F3 e \$F4 para ambas variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER. As tabelas 17 e 18 resumem os principais parâmetros da Análise de Regressão Linear Múltipla das variáveis VELCARRE e RENDENER.

**TABELA 17 - Parâmetros da Análise de Regressão Linear Múltipla da variável dependente "VELCARRE"**

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	P(%)
Const.	26,6383	-	-	-	-
\$F1	-0,5059	0,151943	-3,3295	-0,18827	.0001
\$F2	-1,2819	0,317714	-4,0347	-0,19763	.0001
\$F3	1,7701	0,401402	4,4099	0,20726	.0001
\$F4	-9,2003	0,489520	-18,8006	-0,86309	.0001
R2 = 61,266%					
R2 Ajustado = 61,095%					

Considerando-se que o valor de "T" tabelar, para um grau de liberdade igual a 967 e 4 regressores, é igual a 3,090, então todos os coeficientes "T" são significativos no modelo, ao nível de confiança de 99,99%, conforme a Tabela 17. O coeficiente de determinação ajustado é 61,095%, portanto explicando razoavelmente, a variação ocorrida. Todavia, como o número de observações é muito alto, pode-se confiar nos resultados estimados pela equação. Além do mais, é mais sensato utilizar estes resultados apenas razoáveis, em prol da velocidade de projeto, que é uma velocidade teórica.

Na Tabela 18, como todos os valores dos "T" calculados são maiores do que o tabelar, que é de 3,090, pode-se concluir que todos os coeficientes são significativos no modelo, ao nível de 99,99%. Como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado explica cerca de 86,5119% da variação ocorrida na equação estudada, então somente 13,4325% das variações não estão sendo explicadas pela equação calculada.

**TABELA 18 - Parâmetros da Análise de Regressão Linear Múltipla da variável dependente "RENDER"**

NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	P(%)
Constante	33,8870	-	-	-	-
\$F1	4,2339	0,119930	35,3032	1,44488	.0001
\$F2	2,0921	0,168408	12,4226	0,43242	.0001
\$F3	0,5591	0,228131	3,4509	0,05935	.0001
\$F4	-14,4252	0,298388	-48,3439	-1,43943	.0001
R2 = 86,5675 %					
R2 ajustado = 86,5119 %					



A tabela 19 mostra os resultados da análise de variância relativa às variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER.

**TABELA 19 - Análise de variância das variáveis dependentes "VELCARRE" e "RENDENER"**

VARIÁVEL DEPEND.	FONTES DE VARIAÇÃO	G.L.	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	PROB. (%)
VELCARRE	Regressão	4	98769,97	24692,49	382,21	.0000
	Independ.	967	62472,53	64,60	-	-
RENDENER	Regressão	4	174486,90	43621,72	1557,9	.0000
	Independ.	967	27074,77	27,99	-	-

A análise de variância apresentada na tabela 19 mostra que o teste de "F" para a regressão é altamente significativo, uma vez que os "F" calculados são iguais a 382,21 e 1557,99, e o "F" tabelar igual, a 6,89 (G.L.=967 e  $F=.001$ ), indicando que as equações ajustam-se aos dados observados, na probabilidade próxima de 100%.

A teoria estatística clássica, segundo WONNACOTT & WONNACOTT<sup>64</sup>, não proporciona orientação absoluta para se recusar ou não definitivamente um regressor, pois deve haver um julgamento extra-estatístico. A decisão sobre que regressores devem permanecer, mesmo abandonados pela evidência estatística, deve ficar na consciência técnica do analista.

Os resultados da Análise de Regressão Linear Múltipla são apresentados pelas tabelas 20 e 21.

TABELA 20 - Resumo dos resultados da Análise de Regressão Linear Múltipla da variável "VELCARRE"

=====					
VELCARRE = 26,6383 - 0,506*\$F1 - 1,282*\$F2 + 1,770*\$F3 - 9,203*\$F4					
.....					
erro padrão	(12,886)	(0,1519)	(0,31771)	(0,40140)	(0,48952)
.....					
"t" razão		(3,32949)	(4,03466)	(4,40987)	(-18,800)
.....					
95% interv. conf.	(+-0,810)	(+-0,010)	(+-0,081)	(+-0,025)	(+-0,031)
.....					
R2 Ajust=	61,095%				
d.w.	= 1,516372				
F	= 382,21				
=====					

Através dos resultados das razões "t" de todos os fatores encontrados nas tabelas 20 e 21, comparados com os valores tabelares, observa-se que eles são estatisticamente significativos ao nível de 99%.

TABELA 21 - Resumo dos resultados da Análise de Regressão Linear Múltipla da variável "RENDERER"

=====					
RENDERER = 33,8870 + 4,234*\$F1 + 2,092*\$F2 + 0,559*\$F3 - 14,425*\$F4					
.....					
erro padrão	(14,4077)	(0,11993)	(0,16841)	(0,228131)	(0,298388)
.....					
"t" razão		(35,303)	(12,423)	(2,45089)	(48,3439)
.....					
95% interv. conf.	(+-0,906)	(+-0,008)	(+-0,011)	(+-0,014)	(+-0,019)
.....					
R2 Ajust.=	86,5119%				
d.w.	= 1,661305				
F	= 1557,99				
=====					

A autocorrelação, de acordo com CLEMENTE<sup>7</sup>, tem muita importância quando os dados são de natureza econômica, porque os efeitos das variáveis se propagam, tipicamente, ao longo do tempo (Séries Temporais). Todavia, a autocorrelação não ocorre exclusivamente na análise de séries temporais, podendo estar presente nas análises onde os elementos da população possam ser ordenados, de acordo com alguma propriedade que lhes seja inerente.

O teste de Durbin-Watson (d.w.) é indicado para testar a hipótese de autocorrelação residual. Foi descrito originalmente para equações simples e sem variáveis defasadas, mas também pode ser utilizado quando a estimativa é simultânea e as equações incluem variáveis defasadas.

Realizou-se então o teste de Durbin-Watson, visando averiguar a autocorrelação do termo erro (resíduos das diferenças do projetado com o real). Os resultados encontrados mostraram, "a priori", que não existe autocorrelação entre os resíduos. Isto quer dizer que "n" observações não autocorrelacionadas dão mais informações por serem observações independentes, conseqüentemente, as estimativas são mais fidedignas. Isto pode ser verificado comparando-se os valores estimados de d.w., encontrados nas tabelas 20 e 21, com os valores tabelares respectivos do teste de Durbin-Watson. Como este teste é ainda pouco conhecido no meio florestal, achou-se por bem colocar a sua faixa de variação pertinente aos casos desejados nesta pesquisa, conforme é descrito a seguir:

Tamanho da amostra: 972

Número de regressores: 4

Probab.cauda inferior: .010....DI = 1,46 e Du = 1,63  
 .025....DI = 1,53 e Du = 1,70  
 .050....DI = 1,59 e Du = 1,76

Nas duas regressões, os valores de d.w. são 1,516372 e 1,661305, respectivamente para as variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER. Portanto, existe uma probabilidade de 99% e 97,5%, respectivamente, da não-existência de autocorrelação, garantindo-se estimativas mais fidedignas.

#### 6.4. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO DO SIBRACEF

A fim de se elaborar, em termos práticos, o SIBRACEF, utilizaram-se dois tipos de Rendimento Energético:

- . Rendimento energético bruto(RENDENER);
- . Rendimento energético líquido(RENDENEL).

A diferença entre esses rendimentos energéticos é que, no primeiro caso, utiliza-se a velocidade de operação carregada e peso bruto total transportado por viagem; e no segundo caso, emprega-se a velocidade de operação média(ida + retorno) e peso líquido transportado por viagem(PBTC ou PBT - tara do veículo)

A utilização do rendimento energético bruto é recomendada para situações onde existir o transporte de carga nos dois sentidos, isto é, o veículo trafega sempre com carga. O outro caso é indicado para as situações de transporte de carga em um único sentido, ou seja, sempre com retorno vazio.

Os principais pontos para se estabelecer o SIBRACEF, em termos práticos, são os apresentados a seguir:

#### 6.4.1. Estabelecimento da relação RENDENER/RENDENEL

Realizaram-se duas análises de regressão com o arquivo de dados originais(GERAL), visando obter funções capazes de correlacionar as variáveis independentes Velocidade de Operação Carregada(VELCARRE) e Velocidade Média de Operação(VELMEDIA), bem como as variáveis Peso Bruto Total Transportado(PESOTOTA) e Peso Líquido Transportado(PESOLIQUI).

Um resumo dos resultados da primeira análise de regressão é apresentado na tabela 22.

**TABELA 22 - Resumo dos resultados da análise de regressão das variáveis velocidade de operação carregada e velocidade média de operação**

=====					
PARÂMETROS DA REGRESSÃO: Modelo Polinômio de 3 <sup>o</sup> grau					
NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
constante	-.993994E+01				
VELCARRE	.358242E+01	.431413E+00	.830392E+01	.456449E+01	.000000
quadrado	-.111857E+00	.178747E-01	-.625788E+01	-.840894E+01	.000000
cúbico	.130065E-02	.218396E-03	.595647E+01	.489181E+01	.000000
R <sup>2</sup> .....	.979072E+00				
R <sup>2</sup> ajustado	.976829E+00				
.....					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variância	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probab.
devido à regressão	3	2828,21100	940,7369	436,63	.000000
independente	969	60,32703	2,1545		
=====					

Entre os diversos modelos de regressão testados, o cúbico, por melhor ajustar a função, foi o adotado. Comparando-se os valores de "T" da tabela 22 com os valores tabelares, verifica-se que os coeficientes da regressão são significativos no modelo ao nível de 99,99%. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimado é igual a 97,91%, mostrando que apenas 2,09% das variações não são explicadas pela função de regressão. O valor de "F" encontrado na análise de variância permite concluir que a equação resultante é altamente significativa, portanto indicando que as funções resultantes estão se ajustando aos dados observados, na probabilidade próxima de 100%.

Utilizando-se a função oriunda dessa primeira análise de regressão, estabeleceu-se um fator de transformação (FT1) de velocidade de operação carregada para velocidade média de operação, expressas em Km/h, conforme descrito a seguir:

$$FT1 = (-9,9399 + 3,58242 * VELCARRE - 0,111857 * VELCARRE^2 + 0,0013 * VELCARRE^3) / VELCARRE$$

Na segunda análise de regressão, relacionaram-se as variáveis independentes peso bruto total transportado (PESOTO-TA) e o peso líquido transportado por viagem (PBT ou PBTC - tara), expressos em toneladas, conforme apresentado na tabela 23. Observando-se o valor de "T" estimado, verifica-se que o coeficiente é significativo no modelo ao nível de 99,99%. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) estimado é igual a 99,74%, indicando que apenas 0,26% das variações não são explicadas pela função de regressão. Comparando-se os valores do "F" es-

timado com o tabelar, verifica-se que as funções resultantes dessa análise de regressão estão se ajustando aos dados observados, a uma probabilidade próxima de 100%.

**TABELA 23 - Resumo dos resultados da análise de regressão das variáveis peso bruto total e peso líquido transportados**

=====					
PARÂMETROS DA REGRESSÃO: Modelo Linear					
NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	BETA	PROBAB.
constante	-.794813E+03				
PESOTOTA	.704146E+00	.494153E-02	.142495E+03	.998679E+00	.000000
R <sup>2</sup> .....	.997348E+00				
R <sup>2</sup> ajustado	.997298E+00				
.....					
ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variância	GL	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Probab.
devido à regressão	1	.157617E+11	.157617E+11	1591,0	.000000
independente	971	.419177E+08	.776253E+06		
=====					

Empregando-se a função dessa segunda análise de regressão, estabeleceu-se outro fator de transformação (FT2) do peso bruto total transportado para peso líquido transportado por viagem, expressos em toneladas, conforme descrito a seguir:

$$FT2 = (-0,794813 + 0,704146 * PESOTOTA) / PESOTOTA$$

A multiplicação dos fatores de transformação FT1 e FT2 gera um outro fator de transformação, denominado geral

(FTG), o qual transforma o rendimento energético bruto(RENDENER) em rendimento energético líquido(RENDENEL). Estes fatores terão aplicabilidade por ocasião da opção do uso do rendimento energético líquido.

#### 6.4.2. Padronização dos Escores Fatoriais

Inicialmente, foram padronizados os fatores para se poder utilizar valores de variáveis independentes diretamente as funções de regressão, bem como obter resultados de uso direto. Desenvolveu-se um "software", na linguagem Turbo-Pascal(4.0), denominado "SIBRA", para simular os valores das variáveis dependentes VELCARRE e RENDENER, com vistas a se obter um novo arquivo de dados, específicos para cada composição veicular e suas peculiaridades técnicas, para todas as combinações das variáveis de estrada florestal.

#### 6.4.3. Procedimentos para a constituição das informações essenciais do SIBRACEF

Utilizando-se o "software" SIBRA, visando estabelecer as informações essenciais do SIBRACEF, chega-se a três alternativas de trabalho.

A primeira gera relatórios específicos para cada combinação das variáveis de estrada, para uma dada composição veicular de transporte florestal, visando simular determinadas situações de um local de trabalho.

A segunda realiza todas as combinações das variáveis de estrada, para um dado meio de transporte florestal, obtendo-se 2880 permutações, com respectivos rendimentos energéti-



cos líquido e bruto. Noutra etapa, os resultados de rendimento energético são seleccionados, conforme será mencionado no subítem 6.5.4.1 e ordenados de forma decrescente, segundo o rendimento energético, obtendo-se um novo arquivo de dados;

Finalmente, a terceira alternativa estima as médias e os intervalos de confiança dos rendimentos energéticos para cada classe do SIBRACEF e para uma dada composição veicular. Na utilização prática do SIBRACEF, as informações geradas pelo programa SIBRA estarão condicionadas às classes essenciais do sistema. Dessa forma, as tabelas aqui apresentadas representam as simulações a serem obtidas como resultado final.

#### 6.4.4. Estabelecimento das Classes Essenciais do SIBRACEF

O estabelecimento das classes essenciais do SIBRACEF independe das composições veiculares, uma vez que para as mesmas classes haverá valores de rendimento energético pertinentes ao veículo em questão. Com fins ilustrativos, será mostrado apenas o comportamento de quatro diferentes composições veiculares em relação às classes essenciais do SIBRACEF. Todavia, para quaisquer situações basta que se realimente o sistema, com as informações solicitadas, para se obterem as tabelas desejadas.

As informações técnicas para a definição das classes são as seguintes:

## Composição veicular

### a) RODOTREM

- . Cavalos-mecânico, turboalimentado com "Intercooler", com 250 cv de potência efetiva e consumo específico do motor igual a 146 g/cv.h, e tração 4x2;
- . Um semi-reboque com dois eixos;
- . Um reboque com três eixos;
- . Pneus radiais 11.00 x 22", com a devida pressão interna recomendada pelo fabricante;
- . PBTC média igual a 77 toneladas;
- . Densidade do tráfego: BAIXA.

### b) TREMINHÃO

- . Caminhão-trator, turboalimentado com "Intercooler", com 250 cv de potência efetiva e consumo específico do motor igual a 145 g/cv.h, e tração 6x4;
- . Dois reboques com 2 eixos;
- . Pneus radiais 11.00 x 22", com a devida pressão interna recomendada pelo fabricante;
- . PBTC média igual a 80 toneladas;
- . Densidade do tráfego: BAIXA.

### c) CONJUGADO(BIMINHÃO)

- . Caminhão-trator, turboalimentado com "Intercooler", com 250 cv de potência efetiva e consumo específico do motor igual a 146 g/cv.h, e tração 6x4;
- . Um reboque com dois eixos;

- . Pneus radiais 11.00 x 22", com a devida pressão interna recomendada pelo fabricante;
- . PBTC média igual a 60 toneladas;
- . Densidade do tráfego: BAIXA.

#### d) CAMINHÃO

- . Caminhão com motor aspirado, com 100 cv de potência efetiva e consumo específico de 182 g/cv.h, e de tração 4x2;
- . Pneus diagonais 10.00 x 20", com a devida pressão interna recomendada pelo fabricante;
- . PBT média igual a 16 toneladas;
- . Densidade do tráfego: BAIXA.

#### Variáveis oriundas do veículo

- . Potência efetiva do motor calculada em função de sua curva de eficiência, no centro da faixa econômica de consumo, para a altitude de 600 metros e temperatura média anual de 26°C;
- . Composição veicular;
- . PBT ou PBTC;
- . Densidade do tráfego;
- . Velocidade de operação(veículo carregado);
- . Consumo específico do motor.

#### Variáveis provenientes da estrada florestal

- . Permutação de todas as variáveis de estrada intera-

tivamente, para cada composição veicular, de modo que haja projeção de suas respectivas velocidades carregada e média, bem como dos rendimentos energéticos bruto e líquido.

#### Varáveis dependentes VELCARRE e RENDENER/RENDENEL

- . VELCARRE - Inicialmente, estima-se a velocidade de operação carregada, para todas as combinações das variáveis de estrada florestal. Posteriormente, elas são automaticamente utilizadas na simulação dos respectivos rendimentos energéticos bruto e líquido.
- . RENDENER - utilizando-se as informações estandardizadas dos veículos e da estrada, obtém-se a relação RENDENER e/ou RENDENEL, já na forma bidimensional.

Vale salientar que os veículos deverão estar com pneus apropriados para a condição de superfície da pista de rolamento da estrada florestal e com a pressão interna adequada, conforme recomendação do fabricante. A variação esperada, em virtude de outras variáveis pouco relevantes, encontra-se dentro do limite de confiança de 95%.

Geralmente, as composições veiculares de pequeno e médio porte desempenham uma velocidade de operação em seu limite máximo, às vezes até abusando da segurança, o que poderá acarretar uma diferenciação de rendimento energético. Por outro lado, as composições veiculares de médio e grande porte, mesmo que tecnicamente viáveis a desempenhar uma velocidade

de operação mais alta, geralmente não o fazem devido aos aspectos de segurança. Portanto, a limitação do aumento do rendimento energético reside no fator segurança e não somente nos aspectos técnicos. Além do mais, verificou-se que a relação peso/potência das grandes composições estão, geralmente, acima do tecnicamente recomendado pela literatura especializada, que gira em torno de 180 a 200 (Kg/cv).

Cabe ainda uma outra explicação a respeito da utilização do Rendimento Energético, como parâmetro de avaliação técnica no SIBRACEF. De acordo com SUNDBERG & SVANQVIST<sup>56</sup>, o consumo de combustível integra a influência dos mais importantes fatores condicionantes do trabalho: o custo operacional de qualquer máquina florestal pode ser determinado com base em seu consumo de combustível; a mistura ótima de trabalho/máquina resulta no mais baixo custo possível por unidade de produção, a qual pode ser determinada através do consumo de combustível, como um índice de custo; e, finalmente, o consumo de combustível pode ser um parâmetro conveniente para o planejamento, controle e até para a remuneração do trabalho. O rendimento energético traduz melhor a eficiência do sistema do que qualquer outro parâmetro existente, uma vez que independente do tempo total do trabalho, desconsiderando-se o tempo de espera, carregamento e descarregamento etc., baseando-se apenas no tempo de funcionamento do motor.

#### 6.4.4.1. Seleção de Informações

Considerando-se que a simulação das combinações das variáveis de estrada dá origem a 2880 permutações, constituindo um arquivo de dados muito grande e com várias combinações sem lógica técnica, houve a necessidade de uma seleção prévia para se enxugar o arquivo de dados.

Através de uma análise técnica criteriosa das 2880 combinações das variáveis de estrada, observou-se que diversas delas tinham apenas lógica estatística. Assim, estabeleceu-se critérios técnicos capazes de viabilizar o enxugamento do arquivo de dados simulados, conforme descrito a seguir:

- a) Combinações irreais das variáveis Alinhamento Horizontal(AH) e Alinhamento Vertical(AV) em função do relevo, ou sejam:
  - .  $AH < 3$  e  $AV < 11$ ;
  - .  $AH > 2$  e  $AV > 10$ .
- b) Combinações entre as variáveis Alinhamento Vertical(AV) e Tipo de Superfície da Pista de Rolamento(TS), que inviabilizam as operações de transporte, "a priori", de qualquer meio de transporte rodoviário florestal estudado:
  - .  $AV < 6$  e  $TS < 9$  ;
  - .  $5 < AV < 14$  e  $TS < 6$  ;
  - .  $AV > 13$  e  $TS < 5$ .
- c) Combinações de variáveis de estrada que simulam resultados de rendimento energético muito baixos ou negativos.

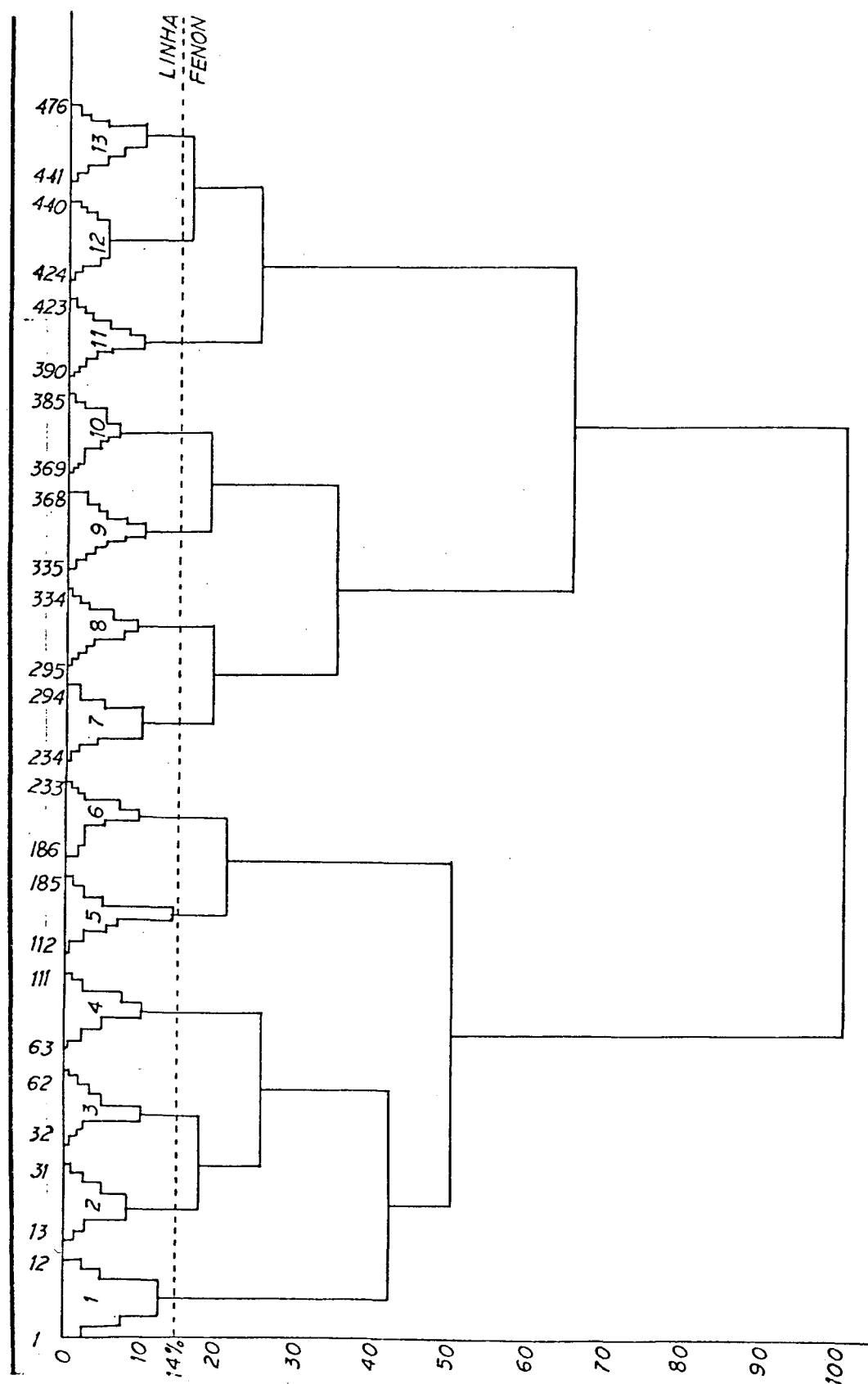
#### 6.4.4.2. Análise de agrupamento("Cluster Analysis")

A Análise de Agrupamento, segundo FAISSOL<sup>13</sup>, é uma técnica estatística multivariada que tem por objetivo separar dados e constituir grupos. No caso desta pesquisa, a quantidade de indivíduos, mesmo após a seleção técnica, é tão grande que são intratáveis, a menos que sejam classificados em grupos manuseáveis. Por outro lado, procurou-se obter grupos de combinações de variáveis de estrada florestal capazes de expressar classes das mesmas, com respectivos rendimentos energéticos. Assim, para se obter as classes essenciais do SIBRACEF, empregou-se a Análise de Agrupamento.

As combinações dos métodos de Ligações Simples, Ligações Completas, Média não Ponderada, Média Ponderada, Mínimos quadrados, foram testadas com as métricas Euclideana, Euclideana Média e Coeficiente de Correlação de Pearson. A técnica de agrupamento que melhor classificou as combinações das variáveis de estrada e o rendimento energético foi o método da Média não Ponderada com a métrica Euclideana Média.

Através da figura 15, pode-se observar a formação das classes essenciais do SIBRACEF, através do dendrograma resultante da análise de agrupamento. Ela mostra apenas as ligações externas dos indivíduos em cada grupo, em virtude da dimensão do dendrograma original, o qual possui 3,0 x 1,0 metros, inviabilizando-se a sua apresentação integral no texto.

**FIGURA 15 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento responsável pela formação das classes essenciais do SIBRACEF**





Em virtude de os métodos estatísticos serem impotentes para determinar o número de grupos, o assunto é muito polêmico. Em outras palavras, a Análise de Agrupamento não estabelece normas e critérios de determinação das partições do espaço amostral, denominada Linha Fenon.

Adotou-se o critério técnico para se estabelecer o número de partições, visando obter um sistema de classificação de estradas florestais padronizado interclasses e flexível intraclasses, com uma variação de rendimento energético mínima, capaz de viabilizar, o uso da média do grupo. Assim, o SIBRACEF passa a se constituir de apenas 13 classes essenciais, viabilizando-se a sua implantação no setor florestal.

**TABELA 24 - Relação das classes essenciais do SIBRACEF com seus respectivos rendimentos energéticos brutos e líquidos**

CLASSES ESSENC: SIBRACEF	freq.* (Z)	MÉDIAS RENDIMENTO ENERGÉTICO BRUTO (T.Km/1)				MÉDIAS RENDIMENTO ENERGÉTICO LÍQUIDO (T.Km/1)				LIMITE INTERVALO CONFIANÇA
		RODOTREH	TREINHÃO	BIMINHÃO	CAMINHÃO	RODOTREH	TREINHÃO	BIMINHÃO	CAMINHÃO	
1	2.5	66,40	62,82	62,39	51,39	49,23	46,05	44,87	31,81	1,68
2	4.0	62,37	58,80	58,36	47,56	48,72	45,29	44,00	29,69	1,16
3	6.6	58,54	54,96	54,53	43,73	48,16	44,60	43,26	27,94	1,39
4	10.3	54,18	50,60	51,22	40,20	47,50	43,74	41,59	26,66	1,59
5	15.6	-	45,51	45,09	34,29	-	42,42	41,04	24,08	1,99
6	10.1	-	41,00	40,49	30,31	-	40,81	38,68	21,77	1,25
7	12.8	-	37,44	36,77	25,60	-	38,74	37,54	20,33	1,64
8	8.4	-	32,75	32,32	21,53	-	35,94	34,93	18,22	1,25
9	7.1	-	-	27,79	17,70	-	-	31,58	15,89	1,44
10	4.4	-	-	24,95	14,15	-	-	27,57	13,37	0,90
11	7.1	-	-	-	10,50	-	-	-	10,39	1,60
12	3.6	-	-	-	7,15	-	-	-	7,31	0,70
13	7.6	-	-	-	3,84	-	-	-	5,17	1,54

\* Corresponde ao número de indivíduos em cada classe essencial do SIBRACEF.

É importante também mencionar que como o Coeficiente de Similaridade é pequeno, com grau de generalização igual a 14%, as classes essenciais do SIBRACEF são muito homogêneas. Essas classes e seus respectivos rendimentos energéticos são apresentadas na Tabela 24.

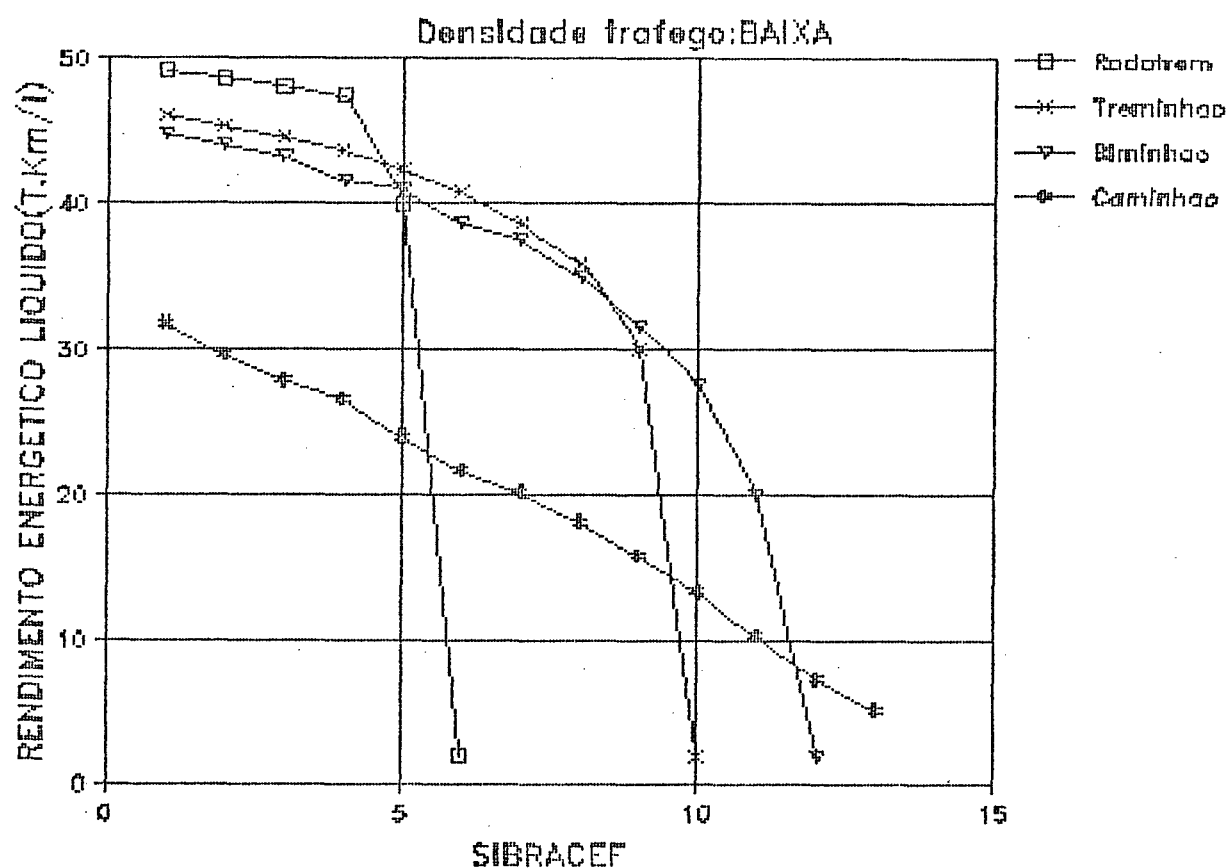
É importante salientar que determinadas classes do SIBRACEF, em virtude da composição de valores de suas variáveis, são tecnicamente inadequadas, por isso não aparecem na tabela 24. Por exemplo, para os RODOTRENS, dadas as características de alinhamento horizontal e vertical e da superfície da pista de rolamento, apenas as classes 1 a 4 do SIBRACEF satisfazem plenamente.

A figura 16 ilustra uma relação do rendimento energético líquido (RENDENEL), de quatro diferentes composições veiculares, em função das 13 classes essenciais do SIBRACEF.

Pode-se verificar, na figura 16, que, para as mesmas classes essenciais do SIBRACEF, o CAMINHÃO do exemplo anterior oferece os menores valores de rendimento energético. Entre as classes 1 e 4, o RODOTREM tem o melhor desempenho energético das quatro composições exemplificadas, enquanto o TREMINHÃO lidera entre as classes 5 e 8. A partir daí, o BILMINHÃO toma a liderança até a classe 10. Vale salientar que estas situações são específicas para os veículos exemplificados.

Para algumas composições veiculares, não existe todas as classes essenciais do SIBRACEF, em virtude de limitações de parâmetros técnicos de estrada florestal.

**FIGURA 16 - Comportamento de diferentes composições veiculares florestais em função das classes essenciais do SIBRACEF**



#### 6.4.4.3. Análise discriminante

A fim de se comprovarem os resultados da análise de agrupamento, realizou-se uma Análise Discriminante. Nesta análise, segundo CLEMENTE<sup>7</sup>, as diferenças são inicialmente representadas por um conjunto de variáveis selecionadas com este objetivo e observadas sobre amostras provenientes de duas ou mais populações supostamente distintas, denominadas

variáveis discriminantes. A seleção dessas variáveis pode ocupar qualquer posição entre os extremos ou então apenas por intuição ou conhecimento técnico.

Empregou-se a Análise Discriminante com objetivo classificatório, portanto de caráter preditivo, procurando-se prever a que classe essencial do SIBRACEF pertence cada uma das combinações das variáveis representando estrada florestal, para cada combinação veicular e suas peculiaridades.

As variáveis discriminantes originais sofrem uma transformação linear para função discriminante segundo o critério de tornar maior possível a distância entre os grupos. Esta separação é medida pelas distâncias entre os escores médios dos grupos sobre as funções discriminantes.

Pode-se testar, segundo FASSOL<sup>13</sup>, a qualidade do esquema de classificação obtido da Análise Discriminante. A significância dessa classificação é testada em termos de análise de variância. Encontrou-se nesta análise, um Lambda de Wilks, que varia de 0 a 1, igual a 0, o que demonstra grande poder discriminatório da variável discriminante.

Noutro teste de hipótese, obteve-se um índice de MAHALANOBIS(V) igual a 49.520,4258. Este valor pode ser usado como qui-quadrado com  $m(g-1)$  graus de liberdade, sendo  $m$ =número de variáveis e  $g$ =número de grupos, para testar a hipótese de que o valor do vetor das médias são os mesmos em todos os "g" grupos destes valores "m" para cada função discriminante  $K=1,2,3 \dots g$ . Portanto, como o valor tabelar de qui-quadrado ( $GL=12$ ) é igual a 3,07, para um nível de probabilidade

de igual a .995, então existe uma grande probabilidade de que os indivíduos foram classificados nos grupos que realmente pertencem.

A distância de MAHALANOBIS, segundo Kiecka, citado por CLEMENTE<sup>7</sup>, é a base do sistema de classificação, e deve ser interpretada como a distância entre cada observação e os centróides grupais, como probabilidades de que a observação pertença a um dos grupos. Assim, através da Análise Discriminante, utilizou-se o rendimento energético como a variável hipoteticamente diferenciadora das classes essenciais do SIBRACEF.

Através da tabela 25, pode-se observar os principais resultados da Análise discriminante. Nela, pode-se verificar que as probabilidades de cada indivíduo pertencer ao grupo estabelecido pela Análise de Agrupamento é muito grande. A classe essencial 11, por exemplo, possui o menor valor probabilístico, ou seja, 82%, enquanto existe 100% de probabilidade dos indivíduos das classes essenciais 1, 2, 6, 8, 10 e 12 pertencerem realmente a seus respectivos grupos.

#### 6.4.4.4. Análise de variância

Existe uma grande diversidade de procedimentos de Análise de Variância, tendo cada uma delas um objetivo específico. Considerando-se que as frequências das observações são desiguais dentre as diversas classes essenciais do SIBRACEF (tabela 24), optou-se pelo ANOVAG, uma vez que este utiliza o método de quadrados mínimos, que é o mais indicado para

estes casos. O programa usado para esta análise no SAEG é uma adaptação do LSMLGPP (Least-square and Maximum Likelihood General Purpose Program).

**TABELA 25- Resumo dos resultados da Análise Discriminante das classes essenciais do SIBRACEF**

CLASSE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	100 (12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	100 (19)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	3	97 (1)(30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	4	96 (2)(47)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	7	86 (5)(63)	7 (6)	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	100 (48)	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	5	89 (3)(54)	8 (4)	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	100 (40)	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	88 (30)	12 (4)	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 (21)	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 (2)	82 (28)	12 (4)	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100 (17)	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11 (4)	89 (32)
TOTAL	12	20	32	52	63	57	54	44	30	27	28	25	32

( ) = número de indivíduos em cada classe do SIBRACEF

Utilizou-se o primeiro escore discriminante(\$D1), com explicação de 94%, para se realizar a Análise de Variância.

A tabela 26 mostra um resumo da Análise de Variância calculada pelo método ANOVAG. Observa-se que os "F" calculados são extremamente altos em relação aos seus respectivos "F" tabelares, indicando existir diferença altamente significativa entre as classes a um nível próximo de 100% de probabilidade, enquanto ao se observar o coeficiente de variação(13,912%), verifica-se que os dados são muito homogêneos.

**TABELA 26 - Resultados da análise de Variância do escore discriminante**

=====					
FONTES DE VARIACÃO	G.L.	SOMA QUADRADOS	QUAD.MÉDIO	F	SIGNIF.
-----					
TOTAL	476	.80511E+9			.0000
TOT.REDUÇÃO	13	.80376E+9	.61820E+9	21206.4	.0000
MÉDIA	1	.51365E+9	.51365E+9	*****	.0000
SIBRACEF	12	.14366E+9	.11972E+8	4106.3	.0000
RESÍDUO	463	.13499E+7	.29155E+5		
-----					
COEFICIENTE DE VARIACÃO = 13.912%					
=====					

#### 6.4.4.5. Teste estatístico para comparações de médias

Quando o resultado de um teste de "F", de uma análise de variância, mostra que as médias diferem entre si, às vezes é importante saber mais sobre estas diferenças.

Pode-se utilizar a análise de variância para separar os tratamentos em grupos homogêneos. Tuckey, por exemplo,

propôs um procedimento sequencial de múltiplas comparações para se chegar a grupos homogêneos, mas com critérios meramente intuitivos. Optou-se pelo Método de SCOTT-KNOTT, por ser mais objetivo, pois utiliza as técnicas da Análise de Agrupamento("Cluster Analysis") para agrupar as médias homogêneas. Como existem diferenças estatísticas entre as médias da análise de variância realizada anteriormente e a fonte possui mais de dois níveis, empregou-se o referido teste.

A tabela 27 resume os principais resultados do teste de agrupamento das médias do primeiro escore discriminante. Pode-se observar que o teste de agrupamento de médias indica que todas as classes essenciais do SIBRACEF são distintas, uma vez que nas comparações não existe uma mesma letra representando mais de uma classe.

**TABELA 27 - Resumo dos resultados do teste de média pelo método de SCOTT-KNOTT**

CLASSES SIBRACEF	MÉDIAS DO PRIMEIRO ESCORE DISCRIMINANTE	COMPARAÇÕES
1	1450.574	A
2	1278.859	B
3	1159.578	C
4	929.861	D
5	713.026	E
6	516.605	F
7	314.356	G
8	166.660	H
9	2.318	I
10	-149.079	J
11	-304.846	K
12	-447.754	L
13	-587.056	M



#### 6.4.5. Otimização do Binômio Estrada/Transporte Florestal

A técnica recomendada para se otimizar a relação Estrada/Transporte florestal é a Pesquisa Operacional. Todavia, como este assunto diz respeito à utilização futura do SIBRACEF, não será tratado neste trabalho.

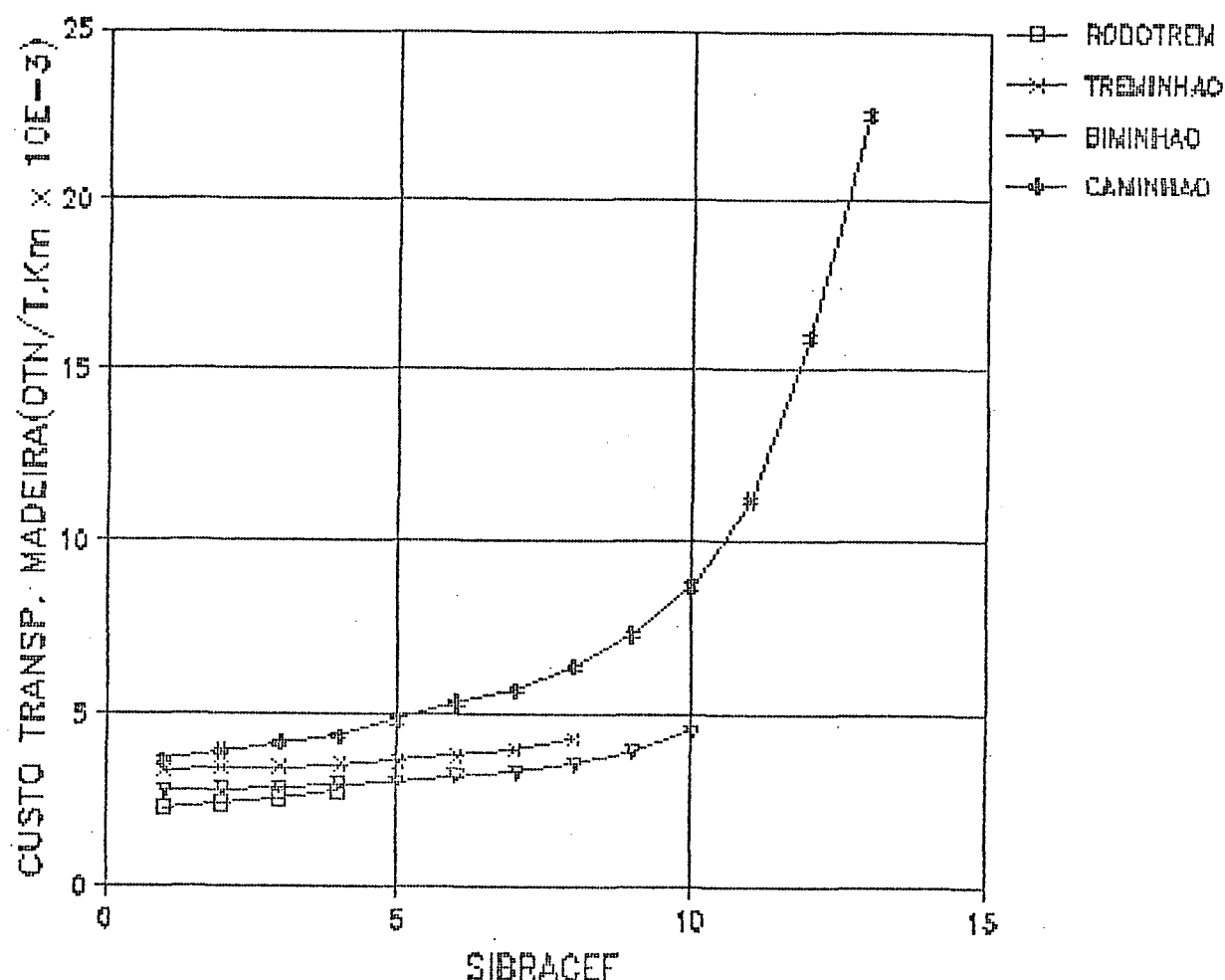
Para se exemplificar a utilização prática da técnica, empregando-se as informações de custos do transporte, desenvolvidas no APÊNDICE A, pode-se gerar funções para as quatro composições veiculares, conforme apresentado na figura 17. Observa-se nesta figura que os custos de transporte de madeira aumentam progressivamente, da primeira para as últimas classes de SIBRACEF, em virtude da queda do padrão delas.

É importante salientar que a utilização imediata do SIBRACEF requer a existência da estrada florestal em questão, uma vez que este sistema é apenas qualitativo. Em caso contrário, deve-se primeiramente estabelecer a quantidade de estradas, através da Densidade Ótima de Estradas Florestais (DOE).

A otimização do binômio se baseia em aspectos técnico-econômicos, mas inicialmente é importante esclarecer os seguintes pontos básicos:

- a) O custo da estrada florestal, inicialmente classificada pelo SIBRACEF, é considerado "zero", em virtude de serem investimentos da fase de implantação e/ou exploração, portanto devem recair sobre o binômio Estrada/Exploração ou simplesmente na implantação e proteção.

FIGURA 17 - Relação do custo de transporte de madeira com as classes do SIBRACEF



b) Cada classe essencial do SIBRACEF possui um dado número de combinações interativas das variáveis de estrada, com um respectivo valor de rendimento energético, compatível à uma dada composição veicular. Assim, o analista precisa seleccionar a melhor combinação interativa, que ofereça o mais baixo custo de execução, conforme é ilustrado a seguir:

SIBRACEF	Largura	Horizontal	Vertical	superfície
1	1	3	1	1
1	1	1	1	1

As duas combinações interativas das variáveis de estrada, para uma mesma composição veicular (Rodotrem) pertencem à mesma classe essencial do SIBRACEF. Todavia, o primeiro caso representa uma estrada florestal com pista dupla e o segundo com pista única. Assim, independentemente do relevo, verifica-se que no primeiro caso requer-se um investimento maior, e somente seria o selecionado, caso houvesse uma densidade de tráfego que o justificasse;

c) Em relevos montanhosos, as classes essenciais do SIBRACEF de melhor padrão tendem a ser geometricamente mais caras do que as demais;

d) É necessária uma análise técnico-econômica mais apurada, visando-se avaliar adequadamente as melhores combinações interativas dentro de cada classe essencial do SIBRACEF, para as situações práticas que surgirem.

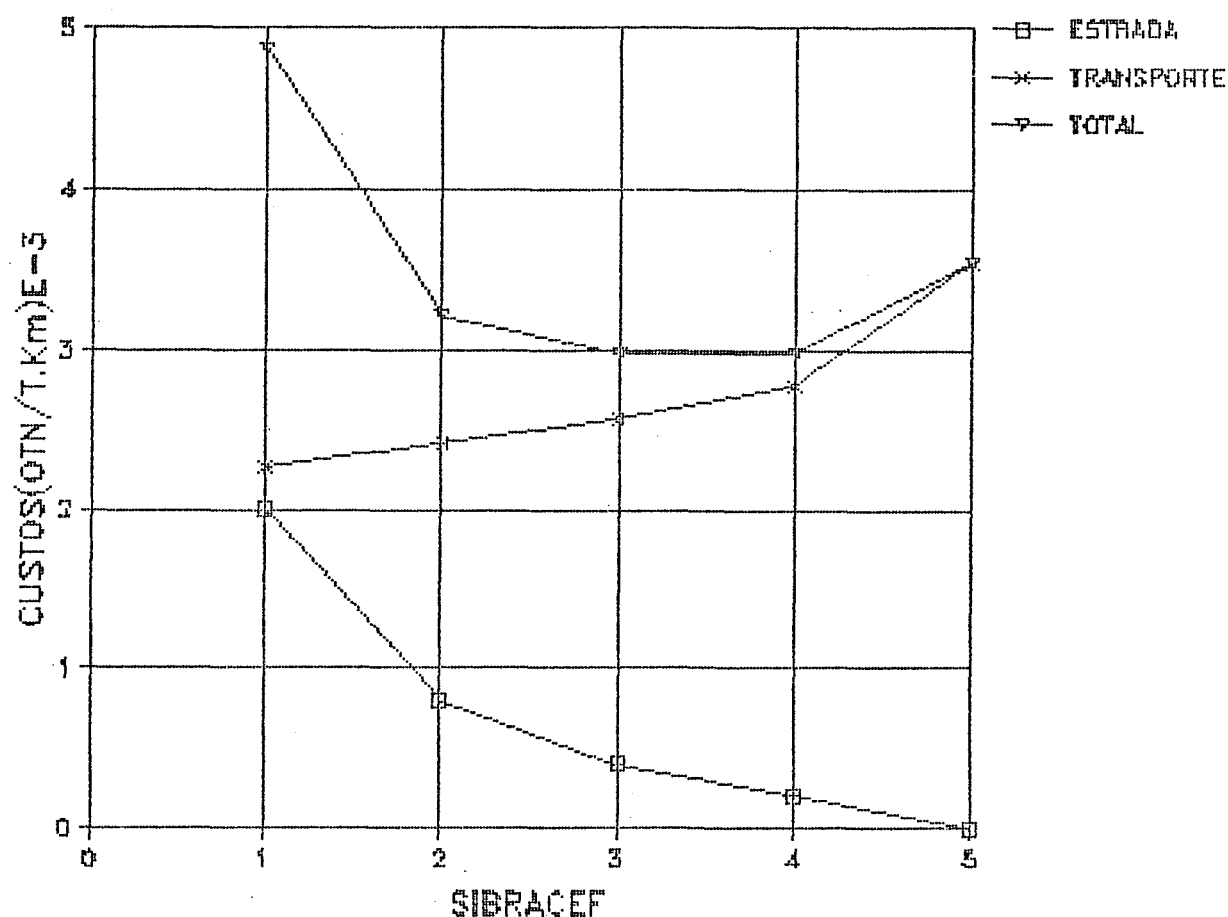
Com fins ilustrativos, utilizaram-se as funções de cada elemento do binômio Estrada/Transporte florestal, para otimizá-lo, pelo processo gráfico. Procurou-se representar as curvas de custo de estrada e de transporte florestal, bem como a de custos totais, para a composição veicular RODOTREM,

seguinte-se parte do exemplo anteriormente desenvolvido, ou seja, um veículo transportando um PBTC de 77 toneladas, numa baixa densidade de tráfego. Observa-se na figura 18 que a otimização do binômio Estrada/Transporte florestal ocorre na classe essencial "3" do SIBRACEF, onde se obteve o mais baixo custo total do binômio, ou seja, cerca de 0,00287 OTN/T.Km.

A estrada original, classificada como "5" pelo SIBRACEF, possui custo de melhorias igual a zero. Como a classe de SIBRACEF otimizada é a "3", então há uma diferença do custo final de transporte na ordem de 0,000625 OTN/T.Km. Precisa-se, ainda, considerar se haverá ou não alteração da extensão da estrada original, para noutra etapa da análise estimar-se o custo final do transporte florestal em função também da distância real.

Quando as melhorias seleccionadas, técnico-economicamente, dentro da classe essencial "3", forem apenas na largura e/ou superfície da pista de rolamento, não haverá alteração do traçado geométrico da estrada, portanto não haverá alteração do custo de transporte otimizado. Por outro lado, se as melhorias forem no alinhamento horizontal e/ou vertical, então poderá haver alteração do traçado geométrico e, conseqüentemente, redução da extensão original da estrada florestal. Dessa forma, o custo total de transporte florestal poderá ser, ainda, substancialmente reduzido.

FIGURA 18 - Otimização gráfica do binômio Estrada/Transporte florestal



Por exemplo, seguindo-se a mesma linha de raciocínio ilustrado na figura 18, se a distância de origem/destino é igual a 50 Km, com um fluxo de transporte na ordem de 40 viagens/dia, tem-se o seguinte:

a) Não havendo redução da extensão original, têm-se uma redução do custo final de transporte florestal, na ordem de 30 mil OTNs/ano. É importante salientar que isto está relacionado com o volume de madeira a ser transportado;

b) Havendo redução da extensão original da estrada, dada a alteração do traçado geométrico, deve-se calcular a redução extra dos custos de transporte, que não é computada na fase de otimização do binômio.

#### 6.4.6. Análise econômica dos resultados do SIBRACEF

O objetivo mais imediato de uma Análise Econômica, é avaliar a situação atual de uma empresa, com base em seu desenvolvimento, acompanhando-se sua evolução, tendências e perspectivas.

Com vistas à realização de uma análise econômica simplista da relação Estrada/transporte florestal, empregou-se um método que não considera as transformações do capital no tempo. No futuro, por ocasião do uso prático do SIBRACEF, será necessária a utilização de uma técnica mais rigorosa, onde se usam taxas de desconto, para tornar comparáveis valores monetários no tempo. Na verdade, o que fundamenta a avaliação de projetos de investimentos, é que êle necessita produzir o máximo de benefícios líquidos, no menor espaço de tempo possível.

Apenas com fins ilustrativos, será realizada uma análise econômica, com base no exemplo numérico anterior, utilizando-se o método "Período de Recuperação do Capital (PRC) e Taxa Interna de Retorno (TIR)", como avaliadores dos investimentos requeridos pelo SIBRACEF, conforme apresentado na tabela 28. Vale salientar, que o sistema de transporte florestal em questão (Rodotrem) está limitado às primeiras quatro

classes essenciais do SIBRACEF, por razões de ordem técnica, e a estrada florestal existente, fora classificada como do tipo "5".

**TABELA 28 - Período de retorno do capital (PRC) e taxa interna de retorno (TIR) dos investimentos requeridos pelo SIBRACEF**

QUANTIDADE DE MADEIRA TRANSPORTADA ANUALMENTE (t x 1000)	ALTERNÂNCIA DE CLASSES DO SIBRACEF							
	5--->4		5--->3		5--->2		5--->1	
	PRC	TIR	PRC	TIR	PRC	TIR	PRC	TIR
100	12,5	-	20,0	-	25,0	-	41,7	-
200	6,3	9,6	10,0	0	12,5	-	20,8	-
300	4,2	20,2	6,7	8,1	8,3	3,5	13,9	-
400	3,1	29,6	5,0	15,1	6,3	9,6	10,4	-
500	2,5	38,5	4,0	21,4	5,0	15,1	8,33	3,5
600	2,1	47,0	3,3	27,3	4,2	20,2	6,9	7,3
700	1,8	55,3	2,9	33,0	3,6	25,0	6,0	10,8
800	1,6	63,5	2,5	38,5	3,1	29,6	5,2	14,0
900	1,4	71,7	2,2	43,8	2,8	34,1	4,6	17,2
1000	1,3	79,8	2,0	49,1	2,5	38,5	4,2	20,2

Obs: PRC = ano; TIR = % juros reais a.a. e vida do projeto = 10 anos

Analisando-se a tabela 28, conclui-se o seguinte:

a) A quantidade de madeira a ser transportado anualmente, é diretamente relacionado ao PRC e inversamente ao TIR, mostrando que o capital investido na estrada poderá ser recuperado mais rapidamente à medida em que se aumenta a quantidade de madeira a ser transportada, mesmo com taxas de Juros reais elevadas.

b) Para se adequar a estrada florestal em questão, que é do tipo "5" do SIBRACEF, para uma do tipo "4", verificou-se que o investimento é recuperado no 2º ano, se a quantidade de madeira transportada anualmente, é superior a 600 mil toneladas; ou no 3º ano, se a mesma for superior a 400 mil toneladas, e assim por diante;

c) Em se tratando de adequar a referida estrada florestal para uma classe do SIBRACEF, ainda melhor, ou seja a do tipo "3", observa-se que o investimento pode ser recuperado já no 2º ano, se a tonelagem de madeira transportada, é superior a um milhão de toneladas/ano, ou no 4º ano, se esta quantia é superior a 500 mil toneladas, e assim sucessivamente;

d) Verificou-se que para adequar esta estrada florestal original("5") para as classes "2" ou "1" do SIBRACEF, a recuperação do capital investido é mais difícil. Na transformação da classe "5" para "2", a recuperação do capital ocorre no 3º ano, se a quantidade de madeira a ser transportado é superior a 800 mil toneladas, enquanto que da classe "5" para "1", a recuperação do capital somente ocorrerá a partir do 4º ano, se a mesma for superior a um milhão de toneladas/ano;

e) Considerando-se que a vida útil da estrada é igual a 10 anos, observa-se que a TIR, no caso de 5 para 4, já é positiva a partir de uma determinada quantidade de madeira a ser transportada anualmente superior a 200 mil toneladas, enquanto para a situação de 5 para 1, somente a partir de 500 mil toneladas. Portanto, esta quantidade de madeira é funda-



mental tanto para se estabelecer as dimensões do pavimento da estrada florestal como para se estabelecer os níveis de investimento no setor.

f) Com relação ao lucro líquido obtido, êle poderá ser utilizado para aquisição de novos meios de transporte, modernizando-se continuamente a mesma frota, sem que haja novos investimentos da empresa. Há de se considerar, ainda, que a estrada florestal de melhor qualidade, pode garantir um fluxo de tráfego durante o ano inteiro e possibilitar a redução do estoque de pátio da indústria, o qual tem um custo financeiro elevado. Outras atividades vitais à empresa florestal terão, também, ganhos substanciais com esta melhoria, entre elas podem-se citar: transporte para o plantio e tratos culturais, proteção e administração, inventário, fiscalização etc.

Na verdade, realizou-se uma análise econômica simplista de recuperação de capital, mas que mostrou a importância econômica do SIBRACEF. Vale salientar, ainda, que as melhores classes essenciais do SIBRACEF, induzem à redução do tempo de depreciação da frota, em função do aumento do número de horas de uso, já que eleva o grau de utilização efetiva da mesma; dos gastos com pneus e manutenção corretiva; do desgaste prematuro da composição veicular etc. Estes outros valores econômicos somente podem ser percebidos através de uma análise mais sofisticada.

Finalmente, deve-se acrescentar que o dimensionamento da frota é mais eficiente via o SIBRACEF, uma vez que êle otimiza o binômio ESTRADA/TRANSPORTE florestal, proporcionando maior eficiência do sistema de transporte, com consequente redução dos custos, obtenção de garantia de abastecimento e maior facilidade de administração do sistema.

#### 6.5. REPRESENTAÇÃO COMPLETA DA CLASSIFICAÇÃO

Deve-se, inicialmente, estabelecer a carga normativa por eixo-padrão do veículo em questão. A partir daí, deve-se acrescentar estas informações à classe essencial do SIBRACEF, estabelecida através da otimização do binômio Estrada/Transporte florestal. Tendo-se, por exemplo, uma classe essencial do SIBRACEF igual a "3", estabelecida na fase de otimização, e se o veículo possui uma carga normativa(N) por eixo-padrão igual a  $10^6$ , então a representação definitiva é a seguinte:

```

-----
| 3N6 |
-----

```

Vale salientar que a classe essencial do SIBRACEF, neste caso "3", é a responsável pela classificação. A outra informação é de caráter complementar, fornecendo a carga normativa que a pista de rolamento deverá receber, portanto predizendo se ela suportará ou não o tráfego durante sua vida útil estimada, desde que receba as devidas manutenções.

A traficabilidade de uma estrada florestal depende do tipo de composição veicular, das condições climáticas e da classe essencial do SIBRACEF. Portanto, isto é uma questão

fundamental a seleção do valor da variável superfície da pista de rolamento, dentro da classe essencial do SIBRACEF. Vale lembrar que existem diferentes combinações das variáveis de estrada, dentro de uma mesma classe essencial do SIBRACEF. Portanto cabe uma análise criteriosa, em termos técnicos e econômicos, para se selecionar adequadamente a melhor combinação das mesmas e atingir os objetivos propostos.

#### 6.6. TESTE DE AVALIAÇÃO PRÁTICA DO SIBRACEF

Realizou-se um teste prático do SIBRACEF, empregando-se diferentes composições veiculares de transporte florestal, visando avaliar os resultados do modelo desenvolvido estatisticamente.

##### 6.6.1. Estabelecimento da Classe Essencial do SIBRACEF

A fim de comprovar a validade do sistema, após sua elaboração teórica, selecionou-se, aleatoriamente, um trecho experimental de estrada florestal, com uma extensão global de 10 Km. Através do projeto geométrico do trecho selecionado, estabeleceram-se os índices geométricos de estrada florestal, indispensáveis à formação da classe essencial do SIBRACEF, conforme apresentado a seguir:

- a) a largura da pista de rolamento, do trecho experimental, é de 8,0 metros, correspondendo a um índice de largura igual a "3";
- b) Foram encontradas cerca de 29 curvas de concórdância horizontal, com diferentes raios. Após a

realização dos devidos cálculos matemáticos, obteve-se um valor para o alinhamento horizontal igual a 150,36 metros, correspondente a um Índice de Alinhamento Horizontal igual a "1";

c) também, através do projeto geométrico do trecho experimental, obtiveram-se os valores de grelde, separadamente para aclive e declive, com seus respectivos comprimentos de rampa. Encontrou-se um grelde ponderado em aclive igual a +6,12% e em declive de -7,97%. Assim, estabeleceram-se os greldes compensados, de aclive e declive, respectivamente, iguais a +4,21% e -2,39%, correspondentes ao Índice de Alinhamento Vertical igual a "8";

d) através dos levantamentos geotécnicos do solo da superfície da pista de rolamento, foi possível classificá-lo de "superfície estabilizada granulometricamente, bem compactada, lisa e desgastada pelo uso", correspondendo a um Índice de Superfície da Pista de Rolamento igual a "2".

Os índices descritos foram interpretados de acordo com as classificações estabelecidas na metodologia do trabalho. Portanto, compilando-se estes resultados dos quatro índices relativos às variáveis relevantes de estrada florestal, obteve-se uma classe essencial do SIBRACEF do tipo "7".

### 6.6.2. Características das Composições Veiculares Testadas

Foram testadas dois tipos de composições veiculares de transporte florestal rodoviário, as quais são apresentadas a seguir:

- a) TREMINHÃO: Caminhão-trator com tração 6x4, com motor turboalimentado com 225 cv de potência efetiva, com consumo específico igual a 150 g/cv.h, transportando um PBTC médio(três repetições) igual a 79 toneladas;
- b) CAMINHÃO: Veículo automotor com tração 4x2, motor aspirado com 100 cv de potência efetiva, consumo específico igual a 162 g/cv.h, transportando um PBT médio(três repetições) igual a 16 toneladas.

Através da tabela 29, pode-se comparar os resultados dos testes práticos com os estimados pelo SIBRACEF. Analisando-se os respectivos rendimentos energéticos, para a classe essencial do SIBRACEF "7", verifica-se que houve um erro de 1,37% e 0,61%, respectivamente, para o TREMINHÃO e o CAMINHÃO, mas ambos dentro dos limites de confiança.

**TABELA 29 - Resultados de rendimentos energéticos brutos do teste prático e da estimativa via SIBRACEF**

=====	=====	=====
RENDIMENTO ENERGÉTICO BRUTO(T.Km/l)	TREMINHÃO	CAMINHÃO
-----	-----	-----
Valores estimados pelo SIBRACEF	37,43	27,68
Valores reais c/ dados de campo	37,95	27,85
=====	=====	=====



Um trabalho por mais perfeito que seja, possui restrições de ordem técnica, econômica etc. Assim, procurou-se enumerar sistematicamente alguns pontos críticos do sistema, identificados até o momento:

- a) requer um inventário da rede rodoviária florestal, através da realização do projeto geométrico das estradas originais, pelo menos de forma expedita;
- b) necessita-se, também, de um estudo dos meios de transporte, especialmente sobre as condições e especificações técnicas dos veículos, densidade do tráfego e carga transportada;
- c) um bom conhecimento técnico sobre as variáveis de entrada "INPUT" é condição imperativa para se interpretar corretamente os resultados oriundos do sistema "OUTPUT";
- d) na medição do consumo de combustível, por razões operacionais e logísticas, não foi possível utilizar um medidor instantâneo de combustível. Dessa forma, estimou-se o consumo de combustível através do consumo específico e das curvas de performance do motor, peso específico do combustível, potência efetiva do motor, temperatura e altitude locais. Portanto, espera-se que haja uma superestimativa do rendimento energético dos veículos de transporte, em situações de longos declives com greides acentuados, em virtude da intensa utilização do freio motor;

- e) a estrutura da superfície da pista de rolamento da rodovia e suas irregularidades, influenciam o desempenho dos veículos através da resistência ao rolamento e da vibração exercida sobre o motorista e o veículo, respectivamente.

A velocidade de operação do veículo é geometricamente inversa à vibração oriunda da ação das irregularidades da superfície da pista de rolamento. Quando uma estrada florestal atinge um elevado nível de irregularidade (macrorrugosidade), perde a sua característica de estrada de rodagem, para um dado meio de transporte rodoviário.

A qualidade da rede rodoviária florestal, classificada pelo SIBRACEF, precisa ser preservada. Portanto, é imprescindível um arrojado esquema de conservação e manutenção destas estradas, para que não haja alteração de sua classificação no decorrer de sua vida útil e, conseqüentemente, manter os custos do binômio Estrada/Transporte florestal, inicialmente estimados.

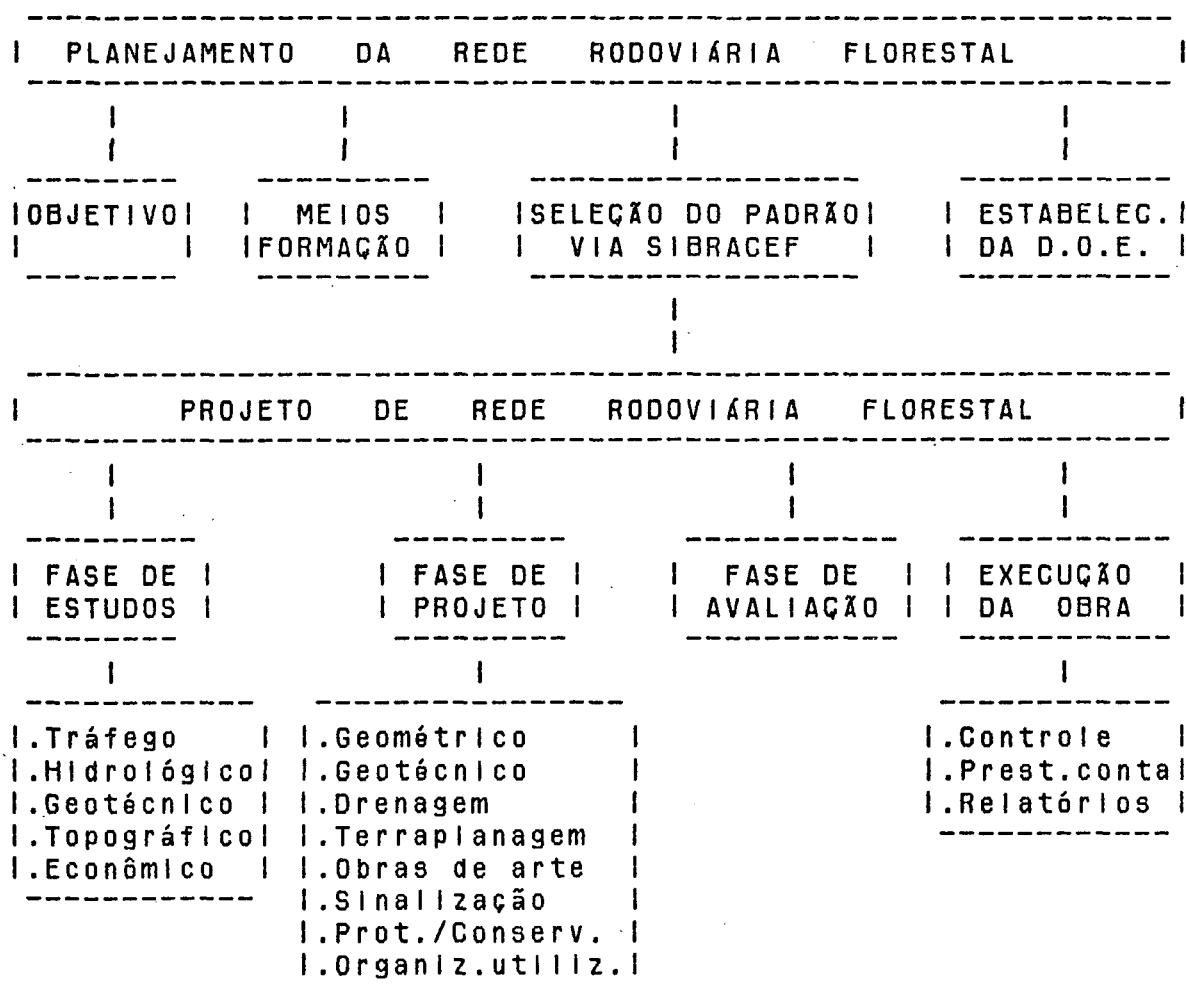
#### 6.8. DESENVOLVIMENTO DO FLUXOGRAMA MODERNO DE PLANEJAMENTO DE ESTRADA FLORESTAL

Desenvolveu-se um fluxograma moderno de planejamento da rede rodoviária florestal, conforme apresentado na figura 19. O binômio Estrada/Exploração, otimizado através da Densidade ótima de Estradas florestais (DOE) é a porção quantitativa da malha rodoviária florestal, enquanto o binô-



mio Estrada/Transporte, otimizado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Estradas Florestais (SIBRACEF), constitui a porção qualitativa. Portanto, pode-se doravante utilizar as normas técnicas de planejamento da rede rodoviária cientificamente.

**FIGURA 19 - Fluxograma moderno de planejamento de estrada florestal através do SIBRACEF**



## 7 - CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados, as principais conclusões a que se chegou, neste trabalho, são as seguintes:

- a) foi desenvolvido, com sucesso, o SIBRACEF, que é padronizado interclasses e flexível intraclasses;
- b) o SIBRACEF possibilita conclusões iterativas, com um alto nível de confiabilidade;
- c) o SIBRACEF é capaz de subsidiar estudos de custo/benefício visando a previsão de gastos e investimentos no setor, especialmente com relação à renovação de frota e melhoria da malha rodoviária florestal;
- d) o SIBRACEF pode subsidiar a redução do estoque de pátio, através da garantia do tráfego planejado durante um período previamente determinado;
- e) a eficiência de um sistema de transporte florestal rodoviário é resultado da interação das classes essenciais do SIBRACEF com as composições veiculares;
- f) o menor traçado geométrico de uma estrada florestal, otimizada pelo SIBRACEF, é diretamente relacionado com suas melhores classes;

- g) a otimização do binômio Estrada/Transporte florestal é baseada na interação dos fatores técnico e econômicos.
- h) o SIBRACEF foi fundamental ao desenvolvimento de um fluxograma moderno de planejamento da rede rodoviária florestal, onde o mesmo passará a normatizar a estrutura organizacional do mesmo;

## 8 - RECOMENDAÇÕES

O SIBRACEF é o primeiro grande passo no sentido de modernizar o setor de estrada e transporte florestal no Brasil, mas como ele não é perfeito, recomenda-se o seguinte:

- a) teorizar e desenvolver um processo analítico de otimização do binômio Estrada/Transporte, em termos técnico-econômico, via a Pesquisa Operacional, com vistas à agilização e simplificação do uso do SIBRACEF;
- b) criar um grupo de trabalho permanente, envolvendo empresas e universidades, com o objetivo de implantar, avaliar e dinamizar o SIBRACEF continuamente, de tal modo a aperfeiçoá-lo constantemente;
- c) pesquisar a relação do alinhamento horizontal, vertical e superfície da estrada com a manutenção dos veículos de transporte de madeira, visando estabelecer um sistema de manutenção preventiva dos mesmos;
- d) estabelecer índices de durabilidade da pista de rolamento das classes essenciais do SIBRACEF, de forma a realizar uma manutenção programada das estradas, evitando-se a sua degradação, bem como garantindo o êxito permanente dos resultados do sistema;
- e) incrementar estudos visando ao desenvolvimento de um manual prático do SIBRACEF.

## 9 - APÊNDICES

### 9.1. APÊNDICE A: ESTIMATIVA DO CUSTO OPERACIONAL DOS VEÍCULOS UTILIZADOS NO EXEMPLO DE OTIMIZAÇÃO DO BINÔMIO ESTRADA/TRANSPORTE FLORESTAL

#### 9.1.1. Introdução

Denomina-se Custo Operacional, o somatório de todos os custos resultantes da aquisição e operação deste equipamento.

A FAO, em 1956, desenvolveu uma técnica de estimativa do custo operacional que foi aceita pelos países mais tradicionais do setor florestal. Em 1971, houve algumas melhorias, passando a chamar-se FAO/ECE/KWF.

Existem muitas técnicas de estimativa de custo operacional, mas nenhuma delas é perfeita. As diferenças existentes podem ser ocasionadas pela política ou contabilidade da empresa, por isso, desenvolveu-se uma metodologia própria, através do uso das vantagens oferecidas pelos diversos métodos disponíveis.

Na verdade, existem três métodos básicos para se calcularem os custos operacionais:

a) Estimativa: para esse método utilizam-se valores estimativos, quer sejam do fabricante, quer sejam de experiência anterior, sendo empregado para se estimar o custo de um novo veículo. Indicado para a planificação e programação

de despesas, por isso às vezes é denominado "custo a priori";

b) Contábil: utilizam-se valores estimativos e reais no cálculo do custo operacional do veículo de transporte florestal. Indicado para situações onde já se adquiriu o veículo, porém desconhecem-se alguns parâmetros, em virtude do pouco tempo de uso;

c) Real: empregam-se somente valores reais nas estimativas. Indicado para situações onde o veículo já foi utilizado em toda a sua plenitude, i.e., durante toda a sua vida útil econômica. Portanto, a empresa conhece todos os parâmetros inerentes ao veículo. Às vezes é denominado "custo a posteriori".

#### 9.1.2. Classificação e cálculo dos elementos de custo

A classificação e cálculo se baseiam nos custos diretos e indiretos da composição veicular.

##### 9.1.2.1. Custo da composição veicular

O custo da composição veicular é composto pelos custos fixos, semi-fixos e variáveis.

##### 9.1.2.1.1. Custos fixos

###### Remuneração do capital

Os juros são calculados aplicando-se ao investimento médio anual uma taxa de juros correspondente a que seria caso o capital fosse proporcionado por uma agência financeira. A

fórmula de cálculo é a seguinte:

$$JU = (IMA + I) / Hf$$

$$IMA = [Va(t + 1) + Vr(t - 1)] / (2 \cdot t)$$

JU = Juros por hora efetiva de trabalho(OTN/he)

Va = Valor de aquisição do veículo(OTN);

Vr = Valor residual do veículo(10% Va);

t = Vida útil(usou-se 8 anos);

IMA= Investimento médio anual(OTN);

I = Taxa anual de Juros simples(usou-se 15%);

Hf = Horas efetivas de trabalho por ano(usou-se 6000 horas).

No valor de aquisição, incluem-se os custos relativos ao Imposto sobre Produtos Industrializados(IPI), Imposto sobre Circulação de Mercadorias(ICM) e Frete.

Entende-se por hora efetiva de trabalho o período de tempo correspondente a uma hora em que o veículo realiza um trabalho produtivo, sem interrupções.

### Seguro

Normalmente, o seguro é feito contra riscos de incêndios e acidentes. Em virtude das características do trabalho florestal, o seguro do veículo contra perdas parciais ou totais constitui de uma boa medida empresarial.

O valor anual é estabelecido, geralmente, entre 5 e 10% do valor de aquisição. A variação deste percentual depende da seguradora e do fator de risco do veículo.

A fórmula matemática tradicionalmente utilizada neste cálculo é a seguinte:

$$S = (Va \cdot P) / Hf \quad \text{em que}$$

S = Custo com seguros(OTN/he);

P = % expressa na forma decimal.

#### Impostos

Os gastos com impostos corresponde aos valores anuais relacionados com a propriedade do veículo, por exemplo, o imposto de Propriedade de Veículos Automotores(IPVA) e o seguro obrigatório.

Através da fórmula matemática abaixo, pode-se calcular o valor relativo a impostos que compõe o custo operacional:

$$I = Ia / Hf \quad \text{em que}$$

I = Imposto por hora efetiva de trabalho(OTN/he);

Ia = Imposto anual(OTN).

#### 9.1.2.1.2. Custos semi-fixos

##### Depreciação(D)

A depreciação é um processo de recuperação do investimento original do veículo, através de um método adequado às



exigências do custo operacional. Empregou-se o Método de Depreciação Linear, que se baseia na vida útil econômica do veículo(H), expressa em horas efetivas de trabalho.

O valor da depreciação, incluído no custo operacional, constitui-se de um capital de reserva destinado à aquisição de novo veículo. Portanto não deve ser confundido com a depreciação contábil, que obedece a razões fiscais, e nem com amortização, que se relaciona com pagamento de uma dívida.

A técnica recomendada para se estimar a depreciação é a que se segue:

$$\begin{aligned} \text{a) } | D &= (V_a - V_r)/H | \\ \text{b) } | D &= (V_a - V_r)/(E \cdot H_f) | \end{aligned}$$

Usar o caso a, quando  $U \leq H_f$ , ou seja, o veículo deverá ser utilizado dentro do prazo de envelhecimento técnico(o mais comum no caso de transporte florestal).

Usar o caso b, quando  $U > H_f$ , ou seja, deprecia-se o veículo somente pelas horas efetivamente trabalhadas até o seu envelhecimento técnico, portanto aumentando-se os custos de depreciação, uma vez que o tempo total de uso do veículo(H) não será completado.

$$| U = H/E | , \text{ em que}$$

E = Envelhecimento técnico do veículo, que corresponde ao máximo tempo de uso, em anos, no qual o veículo pode ser usado economicamente. Acontece que pode haver uma situação onde o veículo não é utilizado totalmente, dentro do prazo de envelhecimento técnico e após este prazo ele pode seguir em boas condições de uso, mas tecnicamente envelhecido para competir com os novos veículos no mercado.

U = Umbrai ou limite mínimo de uso anual. Este parâmetro garante completar o tempo total de uso, especificado pelo fabricante, antes que o veículo se torne obsoleto, ou seja, com o prazo do envelhecimento técnico ultrapassado.

### Consertos

Durante o período de depreciação, o veículo deverá ser consertado por diversas razões. Estes custos são calculados com base na vida útil econômica, em horas de viagem, especificamente, separando-se os custos de pneus, em virtude de sua elevada participação na formação dos custos operacionais. É importante lembrar que neste item somente se compõe os custos relativos a peças, materiais etc., não incluindo portanto, os custos com mão-de-obra utilizada nestas operações. A técnica utilizada é a seguinte:

#### a) Custo de consertos

$$C_o = V_a / (t \cdot H_v) \text{, em que}$$

$C_o$  = Custo de consertos(OTN/he)

$H_v$  =  $H_f[1 - (TE)/(TV + TE)]$

$H_v$  = Horas efetivas de viagem por ano(utilizou-se  
3.000 horas);

$TE$  = Tempo de espera(ex: carga, descarga etc);

$TV$  = Tempo de viagem.

#### b) Custo com pneumáticos

A vida útil econômica de um pneumático depende do padrão construtivo da estrada, do tempo de utilização em viagem, da carga transportada, calibragem adequada etc. Todavia, pode-se adotar, sem muito erro, duas mil horas de viagem ou 60 mil quilômetros, como sendo a duração média dos pneumáticos nas estradas florestais brasileiras.

Através da fórmula matemática abaixo, pode-se estimar os custos de pneumáticos que comporão os custos operacionais do veículo:

$$C_p = [B(t.H_v)] + \{[(T+B)(T.H_v - N)] / (N.T.H_v)\}, \text{ em que}$$

$C_p$  = Custo de pneus(OTN/h)

$B$  = Custo de consertos(OTN), correspondente a 50% do custo de substituição do jogo de pneus( $0,50.T$ );

$T$  = Custo de substituição de um jogo completo de pneus, incluindo-se câmaras, suporte etc(OTN);

N = Vida útil econômica dos pneus(usou-se 2000 horas efetivas de viagem);

#### 9.1.2.1.3. Custos variáveis

##### Combustível

O consumo de combustível depende da potência efetiva e performance do motor, fator de carga, altitude, temperatura, tipo e qualidade do combustível etc.

Para se estimarem os gastos com combustível, foram utilizados o consumo específico motor e sua potência efetiva, o tempo gasto por quilômetro rodado, a carga média transportada por viagem, o peso específico e o custo do litro do combustível.

Através da fórmula abaixo, pode-se estimar os gastos com combustível:

$$C = (CE \cdot PEM \cdot p) / PE$$

em que

C = Custo de combustível(OTN/h);

PEM= Potência efetiva do motor(cv);

p = Custo do litro de diesel(OTN);

PE = Peso específico do diesel(0,8275 Kg/l);

CE = Consumo específico do combustível(g/cv.h).

- . MERCEDES-BENZ 1313, motor de aspiração natural, potência efetiva igual a 100 cv e consumo específico do motor de 162 g/cv.h;
- . VOLVO N10 33, motor turboalimentado "intercooler", potência efetiva de 250 cv e consumo específico do motor igual a 146 g/cv.h;
- . SCANIA 112H, motor turboalimentado "intercooler", potência efetiva de 250 cv e consumo específico do motor igual a 145 g/cv.h.

#### Lubrificantes

Os custos com lubrificantes que compõem os custos operacionais variam em função do tipo de veículo, condição de operação etc. De um modo geral, pode-se estimar o custo de lubrificante através de sua relação com os custos de combustível. O percentual recomendado e utilizado neste trabalho é 20%.

#### 9.1.2.2. Custo de pessoal

Estes custos são variáveis e estão formados pelos custos de operação, pelos custos de manutenção e consertos e administração.

##### 9.1.2.2.1. Custo de operação

Estimam-se os custos de operação, dividindo-se o salário bruto anual, portanto incluindo-se os encargos sociais e direitos trabalhistas. A fórmula abaixo pode ser utilizada

para se estimar este custo:

$$| \text{CMD} = \text{Sb}/\text{Hf} |, \text{ em que}$$

CMD = Custo de pessoal de operação(OTN/h);

Sb = Salário bruto anual(OTN).

#### 9.1.2.2.2. Manutenção e consertos

É muito difícil estimar, com precisão, os custos de consertos, a menos que se tenha experiência com veículos similares e com suas respectivas condições de trabalho. Tornou-se uma prática relacionarem-se consertos com vida útil do veículo e seu valor de aquisição, ou então, valor de aquisição menos impostos e depreciação.

Embora os custos de consertos de um veículo aumente com o seu uso, são determinados com base no cálculo linear, da mesma forma da depreciação. Todavia, pode-se calcular os custos de consertos, em forma progressiva, pois quanto mais velho é o veículo, maiores são os gastos com consertos. Assim, esses dois conjuntos formam um valor anual quase igual durante a vida do veículo, tornando o método de cálculo linear razoavelmente realístico.

O custo de conserto e manutenção consiste basicamente em mão-de-obra e encargos sociais, além de peças de reposição e outros materiais.

Geralmente o custo de conserto e manutenção é estimado em função da maior ou menor exigência de lubrificação. Neste trabalho, empregou-se 15% do custo de operação para o veículo leve (Mercedes Benz) e 25% para os outros três veículos (Volvo e Scania).

#### 9.1.2.2.3. Custo de administração

Esses custos são os indiretos relacionados à administração do trabalho de modo geral. Geralmente, utiliza-se um fator de administração igual a 10% do total de todos os custos diretos.

#### 9.1.3. Preço de veículos segundo os revendedores (dezembro/88)

- . CAMINHÃO : Veículo automotor Mercedes-Benz 1313,  
motor aspirado, com tração 4x2 .....6.200 OTNs
- . CONJUGADO: Caminhão-trator VOLVO N10 33, turboalimen-  
tado "intercooler", com tração 6x4, com um rebo-  
que de 2 eixos .....15.900 OTNs.
- . TREMINHÃO: Caminhão-trator SCANIA 112H, turboalimen-  
tado "intercooler", com tração 6x4, com dois re-  
boques de 2 eixos.....22.900 OTNs

- . RODOTREM: Veículo articulado, composto por um cavaleiro-mecânico VOLVO N10 33, motor turboalimentado "intercooler", com tração 4x2, um semi-reboque de 2 eixos e um reboque de 3 eixos.....18.500 OTNs

OBS: Note-se que nestes custos inclui uma retífica do motor no decorrer da vida útil do veículo, além do IPI, ICM, fretes etc.

#### 9.1.4- Planilha de custo operacional dos veículos

ELEMENTOS DE CUSTOS	COMPOSIÇÃO VEICULAR			
	CAMINHÃO	BIMINHÃO	TREMINHÃO	RODOTREM
1. CUSTOS FIXOS				
. Remuneração capital	0,09300	0,23850	0,34350	0,27750
. Seguro total	-	-	-	-
. Impostos	0,00296	0,00844	0,00885	0,00601
2. CUSTOS SEMI-FIXOS				
. Depreciação	0,11625	0,29813	0,42938	0,34688
. Consertos	0,01163	0,02981	0,04294	0,03469
3. CUSTOS VARIÁVEIS				
. Combustível	0,80678	1,75387	1,75387	1,88379
. Lubrificantes	0,16136	0,35077	0,35077	0,37676
. Manut./consertos	0,75733	2,16050	3,11817	2,93483
4. CUSTOS de PESSOAL				
. Operação	0,10970	0,10970	0,10970	0,10970
. Manutenção	0,01646	0,02743	0,02743	0,02743
. Administração	0,20755	0,49772	0,61846	0,59976
CUSTO TOTAL (OTN/h)	2,28302	5,47487	6,80307	6,59735



### 9.1.5. Estimativa do Custo de Transporte de madeira

Conforme mencionado anteriormente, o transporte de madeira traduz-se pela viagem carregada e retorno vazio.

Através de uma fórmula matemática especialmente desenvolvida para esta estimativa, descrita abaixo, calculou-se os custo de transporte de madeira por tonelada, para cada veículo, tal que se complete o exemplo numérico em desenvolvimento nos itens anteriores.

É importante salientar que determinadas classes do SIBRACEF podem limitar o uso de algumas composições veiculares, em circunstâncias adversas em termos operacionais para elas. Todavia, estas situações já foram mencionadas no capítulo dos resultados.

$$Co = (G \cdot PE) / (RE \cdot PEM \cdot CE) \quad , \text{ em que}$$

$Co$  = Custo de transporte de madeira por tonelada/quilômetro (OTN/T.Km);

$G$  = Custo operacional (OTN/h);

$PE$  = Peso específico do diesel (Kg/l);

$RE$  = Rendimento energético do veículo (T.Km/litro);

$PEM$  = Potência efetiva do motor (cv);

$CE$  = Consumo específico do motor (g/cv.h).

Calcularam-se todos os custos de transporte de madeira, para cada composição veicular do exemplo numérico e em cada classe do SIBRACEF operacionalmente viável. Esses resul-

tados foram compilados e resumidos na planilha apresentada a seguir.

=====				
CLASSES	CUSTO TRANSPORTE DE MADEIRA(OTN/T.Km)			
ESSENC.	-----			
SIBRACEF	RODOTREM	TREMINHÃO	BIMINHÃO	CAMINHÃO
-----				
1	0,002268	0,003372	0,002786	0,003666
2	0,002415	0,003429	0,002841	0,003927
3	0,002573	0,003482	0,002889	0,004173
4	0,002780	0,003551	0,003006	0,004374
5	-	0,003661	0,003046	0,004842
6	-	0,003805	0,003232	0,005356
7	-	0,004009	0,003330	0,005735
8	-	0,004321	0,003579	0,006400
9	-	-	0,003958	0,007338
10	-	-	0,004534	0,008721
11	-	-	-	0,011220
12	-	-	-	0,015950
13	-	-	-	0,022550
=====				

9.2. APÊNDICE B: TABELA DE CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA  
DE SOLOS PELA HIGHWAY RESEARCH BOARDING (HRB)

	SOLOS GRANULARES % QUE PASSAM NA PENEIRA N.º 200 < 35%							SOLOS SILTE — ARGILA % QUE PASSAM NA PENEIRA N.º 200 > 35%				
GRUPO	A1		A3	A2			A2 — 7	A4	A5	A6	A7	
	A1a	A1b		A2 — 4	A2 — 5	A2 — 6					A7 — 5	A7 — 6
% QUE PASSAM NAS PENEIRAS N.º 10 N.º 40 N.º 200	50 máx. 30 "      50 máx. 15 "      25 "		51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
A FRAÇÃO QUE PASSA NA PENEIRA N.º 40 DEVE TER: LL IP	6 máx.		NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. (LL — 30) máx.	41 mín. (LL — 30) mín.
IG	0		0	0		4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
COMPOSIÇÃO DO SOLO	Solo constituído de uma mistura bem graduada de pedra, pedregulho, areia grossa, média e fina e um material ligante não plástico ou de pequena plasticidade.		Areia fina de praia ou então de deserto sem ligante (argila ou silte) ou então pequena quantidade de silte sem plasticidade.	São solos que contêm grande variedade de materiais granulares, os quais estão no limite entre os solos do grupo A1 e A3 e materiais silte-argilosos do grupo A4, A5, A6, A7.			São semelhantes aos solos do subgrupo A2—4 e A2—5, a parte que passa na peneira 40 contém argila plástica, tendo as mesmas características dos solos do grupo A6 no caso do A2—6 ou A7 no caso de A2—7.	Os solos do grupo A4 têm como material típico silte não plástico ou moderadamente plástico, tendo em geral 75% que passam na peneira 200; podem conter também uma mistura de silte e 64% de areia e pedregulho. Os solos do grupo A5 contêm materiais semelhantes ao grupo A4, sendo porém diatomáceos ou micáceos, têm elevado LL, sendo, portanto, altamente elásticos.	O solo típico deste grupo é a argila, tendo 75% ou mais que passa na peneira 200. Contém também mistura do solo argiloso e 64% de areia e pedregulho. Tem alta variação de volume entre o estado úmido e seco.	Os solos deste grupo contêm material semelhante ao descrito no grupo A6, tendo porém alto LL, que é característico do grupo A5, sendo plástico e sofrendo grande mudança de volume.	Contêm todos materiais com IP moderado em relação ao LL, podendo ser altamente elásticos e sofrem grandes variações de volume.	Contêm materiais com alto valor do IP em relação ao LL, estando sujeitos a grandes variações de volume.
	Predomina pedra e pedregulho com ligante sem areia fina.	Predomina areia média com ligante ou sem, bem graduado.		Contêm materiais granulares com 35% ou menos, que passam na 200 e com uma parte mínima que passa na 40, que têm as mesmas características dos materiais do grupo A4 e A5. Contêm também pedregulho com percentagem de silte ou IP > que dos solos A1, e areia fina com silte não plástico com % acima do solo A3.								
Funcionamento como sub-base	Excelente a bom							Fraco a pobre.				

## 10 - GLOSSÁRIO

**ALINHAMENTO HORIZONTAL:** curvatura relativa estabelecida através da relação entre o raio médio das curvas horizontais e a média ponderada do número de curvas horizontais por quilômetro de estrada florestal;

**ALINHAMENTO VERTICAL:** curvatura relativa estabelecida através da relação entre o greide do eixo da estrada e o seu comprimento de rampa;

**AUTOVALOR:** soma dos quadrados das correlações das variáveis com o fator, podendo ser interpretada como o percentual de explicação de cada fator;

**AUTOCORRELAÇÃO:** correlação existente entre as variáveis independentes influenciando a fidedignidade da estimativa de valores das variáveis dependentes;

**COMUNALIDADE:** percentual de explicação de cada variável na análise fatorial;

**COEFICIENTE DE CONEXÃO:** caracterização de cada variável dentro de cada fator da análise fatorial;

COEFICIENTE DE SIMILARIDADE: medida da distância entre os elementos do conjunto de dados ou da associação dos entre os elementos do conjunto de dados;

DENDROGRAMA: representação gráfica das ligações existentes entre os indivíduos de uma análise de agrupamento, sendo este processo hierárquico;

DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS: distância existente entre cada observação e os centróides grupais de uma análise discriminante;

DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE: distância mínima necessária para que dois motoristas, conduzindo veículos na mesma direção e em sentidos contrários, possam evitar o choque, recorrendo-se aos freios;

DENSIDADE DE TRÁFEGO: quantidade média diária de tráfego de veículos automotores;

FREIO MOTOR: resistência criada contra o movimento do veículo, através de um dispositivo de contra-pressão do motor do veículo;

GREIDE: inclinação vertical do eixo da estrada florestal, formando-se os aclives e declives, ajustados por uma curva de concordância vertical;

GRAU DE CURVATURA: grau do ângulo existente entre as duas tangentes da curva de concordância horizontal;

LARGURA DA PLATAFORMA: largura do corpo da estrada florestal, compreendendo-se a pista de rolamento, os acostamentos e as sarjetas, indo até os "offsets";

LARGURA DA ESTRADA FLORESTAL: somatória da pista de rolamento, sarjetas e acostamento;

LINHA FENON: linha de partição do espaço amostral da análise de agrupamento;

LAMBDA DE WILKS: expressa uma relação entre a variância intragrupos e a variância total;

MULTICOLINEARIDADE: influência de um grupo de variáveis independentes, altamente correlacionadas, na predição de valores de variáveis dependentes;

"OFFSETS": pontos extremos da plataforma da estrada florestal;

PISTA DE ROLAMENTO: espaço do corpo da estrada florestal destinado ao tráfego de veículos;

**RENDIMENTO ENERGÉTICO:** relação da carga transportada por um veículo automotor, em uma dada distância, por litro de combustível consumido. Geralmente, é expresso em T.Km/l;

**VARIMAX:** técnica da análise fatorial que utiliza a rotação de eixos de referência ortogonal;

**VELOCIDADE DE OPERAÇÃO:** média geral mais alta de velocidade, excluídas as paradas, a que um motorista pode viajar, sem que exceda a velocidade de projeto, em nenhum momento;

**VELOCIDADE DE PROJETO:** velocidade contínua mais alta a que se podem viajar os veículos, individualmente e com segurança em uma rodovia, quando as condições de tempo são favoráveis e a densidade de tráfego é baixa.

## 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BAUMGRAS, J.E. The causes of logging trucks delays on two West Virginia logging operations. Broomall, USDA. 1976.
02. BYRNE, J.J. et alii. Cost of hauling logs by motor truck and trailers. Portland, USDA, Forest Service, 1956. 116 p.
03. ----- . Logging road handbook: the effect of road design on hauling costs. Portland, USDA, Forest Service, 1960. 65 p.
04. CAMPOS, R. Estructura de los costos de extraccion y transporte de madera rolizza en la selva baja. Lima, PNUD/FAO/PER/81/002, 1983. 71 p.
05. CAMPOS, R.A. Projeto de estradas. São Paulo, Grêmio Politécnico, 1979. 164 p.
06. CATERPILLAR DO BRASIL S.A. Princípios básicos de terraplanagem. São Paulo, Caterpillar. 70 p.
07. CLEMENTE, A. Localização Industrial e crescimento regional. Rio de Janeiro, COPPE, 1982. 318 p. (Tese de Doutorado).
08. COLLINS, R.A. et alii. Operações florestais. Monte Dourado, Companhia Florestal Monte Dourado, 1983. 220 p.
09. COSTA FILHO, p.p. & COSTA, H.B. Construção de estradas florestais e transporte florestal rodoviário na Região Amazônica. Belém, Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Úmido, EMBRAPA, 1980. 30 p.
10. DIETZ, P. Tarefa e modelos da rede viária florestal. IN: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, IV. Curitiba, FUEF, 1983. p.1-21.



11. DIETZ, P. Parâmetros da rede viária e sua otimização. IN: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, IV. Curitiba, FUFEP, 1983. p. 22-35.
12. EKSE, M. Wide single vs. dual tires: A logging road test. Portland, PNFRS/USDA/FOREST SERVICE, 1965. 19p.
13. FAISSOL, S. Tendências atuais na geografia urbano/regional: Teorização e quantificação. Rio de Janeiro, IBGE, 1978. 301p.
14. FAO. Logging and log transport in tropical high forest. Rome, FAO Forestry Development Paper, 1974. 90p.
15. \_\_\_\_\_. Planning forest roads and harvesting systems. Rome, FAO, 1977. 148 p.
16. \_\_\_\_\_. Logging and log transport in man-made forests in developing countries. Rome, FAO/SWE/TF116, 1974. 235p.
17. FAURE, M. & GRATIA, G. L'adherence des reverements routiers en France. Paris, Bulletin de Liaison Laboratoires, Ponts et Chaussées, 70, 1974. p. 127 - 139.
18. GALVÃO, P.G. Algumas considerações sobre a problemática florestal brasileira. Curitiba, Congresso Florestal do Paraná, 1, 1984. 11p.
19. GARDNER, R.B. Some environmental and economical effects of alternative forest road designs. Chicago, American Society of Agricultural Engineers, 1976. 22p.
20. GOULD, N.E. et alii. Transportation investment decision and analysis. Washington, USDA, Forest Service. 1978. 99p.
21. HACKL, W. Economic Considerations for forest roads. IN: TECHNICAL REPORT OF FAO/AUSTRIA TRAINING COURSE ON FORESTS ROADS AND HARVESTING IN MOUNTAINOUS FOREST. Rome, FAO, 1975. p. 85-90.

22. HATTINGER, H. The influence of the forest roads on runoff development of sedimentation and landslides. IN: FAO FORESTRY PAPER LOGGING IN MOUNTAINS FORESTS. Rome, FAO, 1982. p. 93-104.
23. HEINRICH, R. Problems of forest road construction in tropical high forests. IN: FAO FORESTRY PAPER - LOGGING IN MOUNTAIN FORESTS. Rome FAO, 1982. p. 153-164.
24. HOLMES, D.C. Manual for roads and transportation: I. Vancouver, British Columbia Institute of Technology, 1979. 328p.
25. ----- . Manual for roads and transportation: II. Vancouver, British Columbia Institute of Technology, 1979. 328p.
26. IBDF. Inventário florestal nacional. Síntese dos resultados. Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), 1983. 37p.
27. ----- . O setor florestal brasileiro 79/85. Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), 1985. 65p.
28. IMPARATO, L.R. & SANTOS, A.R. Adequação de veículos. São Paulo, Mercedes Bens/Assessoria de Transporte, 1983. 17p.
29. IWAKAWA, O. An estimation of the forest road surfaces. Memoirs Department of Agriculture, Kyoto University, 1966. 47p.
30. IWAKAWA, O. & TAKADA, O. A study on the relationship between the quality of road surface and the maintenance cost of logging motor truck. Journal of the Japanese Forestry Society, 51(11):308-313, 1969.
31. IWAKAWA, O. et alii. An estimation of the geometrical design of forest road based on physiological responses of the driver running a vehicle. Journal of the Japanese Forestry Society, 59(10):385-388, 1977.

32. IWAKAWA, O. A scientific method to evaluate the quality of roads and its applications. IN: IUFRO WORLD CONGRESS, XVII. Ibaraki, Forestry and Forest Products Research Institute, 1981. p. 95-101.
33. LAVOIE, J.M. The transportation of the tree lengths by truck trains. Point Claire, FERIC, 1979. 57p.
34. MACHADO, C.C. et alii. Truck project. Seattle, University of Washington, 1978. 35p.
35. ----- . Exploração Florestal: V parte. Viçosa, Imprensa Universitária, 1985. 15p.
36. MACHADO, C.C. & MALINOVSKI, J.R. Rede viária florestal. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1986. 157p.
37. ----- . A planificação da rede rodoviária em reflorestamentos. IN: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS. Curitiba, IUFRO, 1987. p.01-13.
38. MACNALLY, J.A. Truck and trailers and their applications to logging operations. Fredericton, University of New Brunswick, 1975. 630p.
39. NEUBERGER, E. The forest roads inventory project and its effect on financing and planning measures. IN: FAO FORESTRY PAPER-LOGGING IN MOUNTAIN FORESTS. Rome, FAO, 1982. p.19-26.
40. PATTERSON, W.C. et alii. Standard classification for forest roads. Vancouver, FERIC, 1976. 28p.
41. PEREIRA, A.R. et alii. Estudos de viabilidade econômica do transporte de carvão vegetal do Vale do Jequitinhonha para Acesita-MG. Viçosa, SIF, 1980. 39p.
42. PESTAL, E. Forest road construction between economics and protection of nature. IN: FAO FORESTRY PAPER-LOGGING OF MOUNTAIN FORESTS. Rome, FAO, 1982. p.15-18.

43. PINTO, V.P. Manual de transporte de produtos florestais. Rio de Janeiro, MA/IBDF/DIC/UFRRJ, 1982. 265p.
44. REUTEBUCH, S.E. & TWITO, R.H. Preliminary route location using a digital terrain model. Chicago, American Society of Agricultural Engineers, 1985. 12p.
45. RICHARDSON, H.W. Elements of regional economics. London, Pergum Books Ltda, 1970. 166p.
46. ----- . Economia regional: Teoria da localização, estrutura urbana e crescimento regional. São Paulo, Zahar Editores, 1975. 421p.
47. SAAB SCANIA DO BRASIL. Transporte na Agro-Indústria. São Paulo, Engenharia de Vendas/SAAB SCANIA, 1983. 25p.
48. ----- . Importância da racionalização para o frotista. São Paulo, Engenharia de Vendas/SAAB SCANIA, 1981. 30p.
49. ----- . Renovação de frotas. São Paulo, Engenharia de Vendas/SAAB SCANIA, 1983. 15p.
50. ----- . A evolução do transporte. São Paulo, Engenharia de Vendas/SAAB SCANIA, 1984. 26p.
51. ----- . Desempenho. São Paulo, Engenharia de Vendas/SAAB SCANIA, 1985. 26p.
52. SANTOS, A.R. et alii. Estradas vicinais de terra: Manual técnico para conservação e recuperação. São Paulo, IPT, 1985. 129p.
53. SIQUEIRA, J.D.P. O setor florestal brasileiro: Comercialização de produtos florestais à nível nacional e internacional. IN: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA FLORESTAL, I. Curitiba, UFPR, 1988. p.01-11.
54. SMITH, D.G. & TSÉ, P.P. Logging trucks: Comparison of the productivity and costs. Vancouver, FERIG, 1977. 43p.

55. SOUZA, J.O. Estradas de rodagem. São Paulo, Livraria Nobel, 1981. 234p.
56. SUNDBERG, U. & SVANQVIST, N. Fuel better than time as Indicator of true machine costs. IN: IUFRO WORLD CONGRESS, 18. Ljubljana, IUFRO, 1986. p.1-8.
57. VOLVO DO BRASIL. Utilização de veículos pesados no transporte florestal. Curitiba, Engenharia de Vendas/Volvo do Brasil, 1983. 39p.
58. YAMAMOTO, M. An analysis of the traffics on the forest roads. The Bulletin of the Kochi University Forests, 1976. p.17-26.
59. ----- . An evaluation of geometrical design of forest roads as viewed from their traffic analysis. Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kochi University, 1977.82p
60. ----- . Geometrical design of forest roads in Japan. IN: IUFRO WORLD CONGRESS, XVII. Ibaraki, Forestry and Forest Products Research Institute, 1981. p.81-93.
61. ----- . An effect of sight distance on the driven speed vehicles on mountainous forest roads. IN: IUFRO WORLD CONGRESS, XVII. Ibaraki, Forestry and Forest Research Institute, 1981. p.504.
62. YAMAZAKI, T. A study on the physiological evaluation of the geometrical design factors of forest road. Journal of the Japanese Forestry Society, 67(1):33-36, 1985.
63. WALBRIDGE, T.A. & BENTLEY, A.R. Road locator's handbook. Calhoun, Hiwassee Land Company, 1960. 30p.
64. WONNACOTT, T.H. & WONNACOTT, R.J. Estatística aplicada à economia e a administração. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1981. 685p.